无线电

2010年合订本（下）

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号：2-75 国外代号：M106

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘

为爱好者和专业人士奉献的精品图书（试读版）
单片机源程序、印制电路板图等

2010年第7期～第12期

特别策划 音频应用 广播爱好者 火腿通信 测试测量 玩转单片机 实用电路制作 维修帮手 初学者园地

DSP
数字信号处理

德生技术合作伙伴—美国SILICON LABS

TECSUN
德生牌收音机
中国驰名商标

享受广播 - TECSUN
Enjoy broadcasting

德生DSP全波段收音机系列

PL-300WT／PL360／PL-380／PL-390／PL-505

www.tecsun.com.cn

德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

东莞市德生通用电器制造有限公司 地 址：中国广东省东莞市东城区莞长路189号德生大楼 邮编：523071 电话：0769-23167118 传真：0769-23160700

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购

   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座《无线电》杂志（100061），收款人：《无线电》杂志
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）

   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）

   （3）卓越网：www.amazon.com.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

ISBN 978-7-115-24603-5

9 787115 246035 >

ISBN 978-7-115-24603-5

定价：40.00 元（附光盘）

无线电合订本

2010年（下）

《无线电》编辑部　编

人 民 邮 电 出 版 社

北　京

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》合订本2010年. 下 / 《无线电》编辑部
编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2011.1
ISBN 978-7-115-24603-5

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术－2010－丛
刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第247295号

内 容 提 要

《无线电》合订本2010年（下）囊括了《无线电》杂志2010年第7～12期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了为爱好者和专业人士奉献的系列精彩图书的试读版，还收录了与文章相关的印制电路板图、电路原理图、源程序等。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》合订本 2010（下）

◆ 编　　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　尹　飞　邓　晨
◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京鑫正大印刷有限公司印刷
◆ 开本：787×1092　1/16
印张：35
字数：1108 千字　　　　2011 年 1 月第 1 版
印数：1 – 10 000 册　　　2011 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-24603-5

定价：40.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

无线电 CONTENTS

2010年合订本（下） 目录

特别策划

爱上制作系列

触摸屏——为还不会用鼠标的孩子准备的改装技术 ◎夏明新 译 07（002）

自制太阳能手链——把太阳能模块串起来点亮你的LED首饰 ◎夏明新 译 07（003）

制作你的VIP机械手臂 ◎译/肖伊南 08（006）

教你钻出误差小于0.01mm的螺丝孔 ◎译/肖伊南 08（008）

Arduino专题

Arduino让我们爱上制作 ◎高磊 09（010）

Arduino从哪里来 ◎sean 编译 09（012）

伺服电机让你的机器人更有力量☆ ◎夏明新 译 09（013）

Arduino让电子与设计互动起来 ◎高磊 09（017）

强力的新型检修工具——电容ESR表的设计制作 ◎薛国雄 11（019）

大功率LED照明专题

LED照明灯具 ◎刘祖明 10（036）

认识大功率LED ◎刘祖明 10（039）

大功率LED明星秀 ◎刘祖明 10（040）

动手组装大功率LED灯 ◎刘祖明 10（042）

大功率LED驱动电路集锦 ◎刘祖明 10（045）

LED灯具选购指南 ◎刘祖明 10（048）

音频应用

VMA系列数字音频功率放大模块的应用 ◎刘丁 07（051）

掌上高保真音频解码器的制作 ◎游宇兵 07（054）

300B推FU-5胆机的制作 ◎安石 07（056）

场效应管耳机放大器DIY手记 ◎梓门 编译 07（060）

自己动手改善有源音箱的音质 ◎肖敦金 07（064）

音箱基础知识

分频器设计实战——打摩多媒体音箱 ◎曾念民 07（067）

Clair（克莱）6.5英寸书架箱套件 ◎邬志扬 08（072）

TDA7293芯片主从并联的应用 ◎刘昆鹏 08（075）

玩转老功放之入门篇 ◎梓门 08（078）

用感光法制作电路板 ◎刘枝平 08（085）

用挪威西雅士H1212和H1224制作一对满意的书架箱 ◎朱辉 08（087）

功放DIY中需要注意的一些问题 ◎牛歌 王强述 09（090）

一款前级平衡放大电路 ◎陈永胜 09（094）

DIY无线音频转发器 ◎刘丁 09（096）

采用TDA1540芯片制作音频解码器 ◎卡斯拿斯 09（098）

玩转老功放之中级篇 ◎梓门 09（101）

浅谈音响中的电源 ◎牛歌 10（108）

玩转老功放之高级篇（上） ◎梓门 10（114）

实用音响技术入门与提高

差动放大器 ◎葛中海 陈永新 10（118）

KT66单端胆机的制作 ◎陈建军 10（121）

2×100W甲乙类胆石组合功放的制作 ◎余峰 11（125）

Mini桌面音响的设计与制作 ◎Youngstone 11（130）

实用音响技术入门与提高

恒流源电路 ◎叶小丽 葛中海 11（134）

玩转老功放之高级篇（中） ◎梓门 11（135）

梦幻之球天籁之声——用300B制作单端A类合并式功放 ◎张全定 12（140）

超级大理石805胆机的制作 ◎代晓刚 12（144）

玩转老功放之高级篇（下） ◎梓门 12（146）

广播爱好者

有一双漂亮大眼睛的收音机——美国CROSLEY收音机

◎陈祖德 07（151）
维修SONY SW-77收音机手记 ◎肖小春 07（152）
SONY SW-55型收音机维修札记 ◎肖小春 08（155）
鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机5——飞乐271型收音机
◎陈汉燕 徐蜀 08（158）
SONY CRF-320型收音机 ◎陈祖德 09（162）
鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机6——东方红82-Y型收音机
◎陈汉燕 徐蜀 09（164）
享受宽音场——TECSUN PL-390型收音机的特色解读
◎邱志强 10（167）
鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机 7——春雷101型收音机
◎陈汉燕 徐蜀 11（170）
全数字RDS数据广播技术应用——数字无线寻址广播
◎唐亚军 11（174）
细说DSP收音机 ◎陈平 12（176）
长波波段数字信号接收初探 ◎江天舒 胡铁君 12（181）

火腿通信

钳子也发烧 ◎聆听 07（184）
业余电台仪器实战系列2
频率计使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 07（188）
美国业余无线电爱好者提出新实验课题
超紫外光DX通信 ◎文翰墨 07（192）
免接收调试的小型40mSSB/CW收发信机
◎赵辉（BD6RA） 07（193）
业余电台仪器实战系列3
信号发生器使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 08（196）
我的多功能数字扫频仪DIY故事☆ ◎金宏伟 08（200）
让电动工具成为你的DIY利器 ◎聆听 08（204）
业余电台仪器实战系列4
直流稳压电源使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 09（209）
QRP之道——写在《小功率通信指南——QRP之道》
出版之时 ◎阮东升（BA6QH） 09（213）
不可不说的扳手 ◎聆听 09（218）
业余电台仪器实战系列5
天线分析仪使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 10（222）
Rock-Mite国产“章鱼”第二版设计者说
◎卜宪之（BD4RG） 10（226）
“章鱼”再生记 ◎阮东升（BA6QH） 10（229）
业余电台仪器实战系列5
频谱分析仪使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 11（234）
做一个实用的LED驻波指示器 ◎刘辉（BG1LQX） 11（238）
业余电台仪器实战系列6
无线电综合测试仪使用攻略 ◎杨法（BD4AAF） 12（241）
业余无线电与数字通信 ◎高国强（BD4OS） 12（246）

测试测量

高灵敏度正负电荷判别器 ◎周宝善 07（248）
采用套件组装的多功能电子测量仪（上）◎林芝松 07（250）
罗德施瓦茨示波器的创新之道 ◎邓宝明 08（254）
汽车电脑板维修用三通道信号发生器 ◎林元新 08（256）
采用套件组装的多功能电子测量仪（下）
◎林芝松 08（258）
深入了解载波发生电路——LC非线性振荡器的测试
◎王文勇 08（261）
4款常见2.4G无线模块横向对比 ◎刘亮 09（265）
实测简化版TEA5767调频收音模块☆ ◎刘作新 09（267）
新品试用报告
试用OWON PDS7102T数字示波器
◎《无线电》测试员 10（271）
玩转电能表 体验智能化1
走近电能表☆ ◎吴汉清 10（275）
数字电压表的那些事 ◎邓宝明 编译 10（280）
玩转电能表 体验智能化2
手工打造智能功率表、限电器☆ ◎吴汉清 11（284）
Faith368万用表试用报告 ◎《无线电》测试员 11（287）
制作一台数控恒压恒流电源（上）◎肖庆高 魏坤 11（291）

CONTENTS

巧用逻辑分析仪助力单片机开发 ◎李惠军 11（295）

制作一台数控恒压恒流电源（下）◎肖庆高 魏坤 12（298）

玩转电能表 体验智能化3

自制预付费电能表☆ ◎吴汉清 12（302）

玩转单片机

摆脱束缚 让无线走进生活之键盘篇☆ ◎刘亮 07（306）

电机进阶4——全自动绕线机器人☆ ◎李文卿 07（310）

能“锁定输出电压”的安全型数控稳压电源☆

◎周坚 07（314）

小巧实用的51单片机GPS开发板 ◎徐玮 07（318）

Future Timer4未来时钟☆ ◎杜洋 07（322）

详解制作简易时钟SmileClock ◎伍浩荣 08（327）

太阳能光伏系统控制器☆ ◎吴汉清 08（330）

精简制作触摸操作（上）☆ ◎杜洋 08（333）

个性七彩小夜灯 （设计原理篇） ◎刘宁 08（338）

炫彩LED二进制时钟 ◎伍浩荣 09（342）

图形液晶模块应用入门1

无字库12864液晶的驱动方法☆ ◎卫小鲁 09（343）

精简制作触摸操作（下）☆ ◎杜洋 09（348）

个性七彩小夜灯（制作调试篇）☆ ◎刘宁 09（353）

Microchip公司推出全新开发板Microstick

◎资料室 09（356）

立体LED七彩走马灯☆ ◎伍浩荣 10（357）

图形液晶模块应用入门2

无字库12864液晶模块应用实例一：小小日历钟☆

◎卫小鲁 10（360）

自制高灵敏度JJY授时信号接收系统 设计原理篇

◎郭黎利 杨鹏 10（363）

自己动手改进调频发射机掉载波报警器 ◎彭琦 10（366）

自制高灵敏度JJY授时信号接收系统 制作调试篇☆

◎郭黎利 杨鹏 11（368）

“屏幕式”声光电子琴☆ ◎伍浩荣 11（371）

实战单片机电子钟制作☆ ◎董庆源 11（374）

图形液晶模块应用入门3

无字库12864液晶模块应用实例二：小小温湿度计

◎卫小鲁 11（378）

特别策划

PIC单片机轻松入门 ◎周坚 12（382）

硬件开发环境的建立 ◎周坚 12（383）

软件实验环境的建立 ◎周坚 12（386）

信息的窗口——数码显示屏 ◎周坚 12（390）

太阳能路灯的搭档——智能高效充电控制器

◎刘永涛 尤文强 12（394）

温度时间两不误——立起来的建筑制作风格☆

◎伍浩荣 12（398）

图形液晶模块应用入门4

无字库12864液晶模块应用实例三：小小数字指南针☆

◎卫小鲁 12（402）

实用电路制作

自制4位半液晶数字电压表头

◎曾学明（BD1QMP） 07（406）

自制简易电子阅读器☆ ◎张彬杰 07（409）

新器件试用台

轻松打造USB声卡——PCM2900与MAX9728的完美结合

◎任杰 07（412）

论坛精华 DIY数字电桥 ◎草音 整理 07（415）

数控雕刻机的制作 ◎吴晓燕 08（417）

22个元件做出学习型遥控器☆ ◎张彬杰 08（420）

新器件试用台

MAX5486+TA2024——制作一款小巧的桌面功放

◎任杰 08（424）

论坛精华 50MHz 示波器升级成100MHz 示波器

◎草音 整理 08（428）

试做笔记本电脑无线电源 ◎古人 09（431）

简易示波器自制体验☆ ◎张彬杰 09（434）

环保节能的零静耗彩电待机控制器 ◎彭佩烘 09（437）

论坛精华 常用数字万用表的检修问答

◎草音 整理 09（440）

让卧室照明灯应声而关——灵敏可靠的掌声控制开关 ◎茅凌云 10（442）
玩转Arduino用入门套件开启Arduino的精彩之旅 ◎刘英杰 10（445）
打造个人气象站 ◎荣新华（BD6CR/4） 10（448）
论坛精华 DIY太阳能单管机 ◎草音 整理 10（452）
新器件试用台
用TPA3123制作一款纤小而强劲的D类功放 ◎任杰 11（454）
世博会归来的制作——激光竖琴☆ ◎张彬杰 11（458）
玩转Arduino
把玩我的3PA小车☆ ◎刘英杰 11（460）
教你DIY手柄遥控的机械臂☆ ◎刘英杰 12（463）
DIY双路数显可调稳压电源 ◎梁文志 12（466）
自定义提醒闹钟☆ ◎张彬杰 12（469）
用8位单片机轻巧做出音乐播放器☆ ◎孙德庆 12（473）
数字显示恒流型电子负载机 ◎冉小平 12（474）
帮你的无线路由器节电 ◎彭佩烘 12（477）

维修帮手

液晶投影机的维护 ◎华良云 07（480）
电热水壶常见故障排除 ◎梁明义 07（482）
问与答 07（483）
“四部曲”替换路由器电源 ◎张国华 刘克铜 08（484）
DLP（数码）投影机的拆卸和维护 ◎华良云 08（486）
维修员浅析液晶投影机和DLP投影机的特点 ◎华良云 08（488）
问与答 08（489）
楼宇对讲门铃的维修 ◎于永泉 09（490）
惊险检修显示器屡炸保险管故障 ◎田国勇 09（491）
冠捷液晶彩显电源电路的检修 ◎孙唯真 09（492）
问与答 09（495）
电动车充电器的常见故障维修 ◎马光路 10（496）
夏普投影机XV-P100检修4例 ◎霍汉明 10（499）
问与答 10（500）
电磁灶IGBT管的代换技巧 ◎王德沅 11（501）
“盲肠”元件引起的故障 ◎周永海 11（504）
问与答 11（505）
自己动手维修手机充电器 ◎余俊芳 12（506）
快门控制线引起的“眼疾”检修 ◎潘邦文 12（508）
清除喷墨打印机墨盒打印口堵塞的双一方法 ◎王绍华 12（509）
问与答 12（510）

初学者园地

常用元器件的识别与使用（十四）
无极性的光敏电阻器 ◎张晓东 07（511）
微控管实用制作八例 ◎张晓东 07（514）
常用元器件的识别与使用（十五）
以“光”为传媒的光电耦合器 ◎张晓东 08（519）
光电耦合器使用常识 ◎张晓东 08（521）
常用元器件的识别与使用（十六）
能显示字符的LED数码管 ◎张晓东 09（524）
自制雷电预报器 ◎张爱迪 09（528）
常用元器件的识别与使用（十七）
可逆向换能的压电陶瓷片 ◎张晓东 10（531）
压电陶瓷片使用常识 ◎张爱迪 10（534）
用闪光LED制作BEAMBOTS太阳能机器人 ◎王超 10（536）
阳光风铃 ◎孙德庆 11（539）
常用元器件的识别与使用（十八）
小巧灵敏的驻极体话筒 ◎张晓东 11（541）
如何使用驻极体话筒 ◎张爱迪 11（543）
常用元器件的识别与使用（十九）
最常用的电动式扬声器 ◎张晓东 12（546）
如何使用电动式扬声器 ◎张爱迪 12（549）
不用电的频闪灯 ◎王超 12（552）

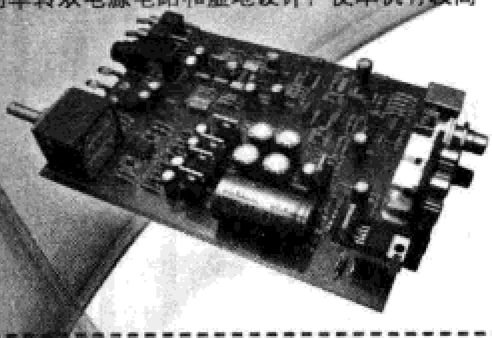
注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。

套件天地

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座，《无线电》杂志社收，邮编100061，请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话。
2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com

MINI USB DAC套件——580元/套+15元（邮费）

特点：（1）采用BB公司新型解码芯片PCM1793和高品质数字接收芯片DIR9001。（2）耳放部分采用OP+BUF的框架模式，采用中功率管作为放大输出，能驱动例如H600等高阻耳机。（3）创新采用单转双电源电路和虚地设计，使本机有较高的信噪比。（4）全部采用高品质的元器件，所有的色环电阻为日本KOA金属膜，电容为nichicon的音响专用系列，固体电容大量使用的是德国WIMA，电位器采用的是ALPS 大蓝壳，面板为高精度CNC加工。

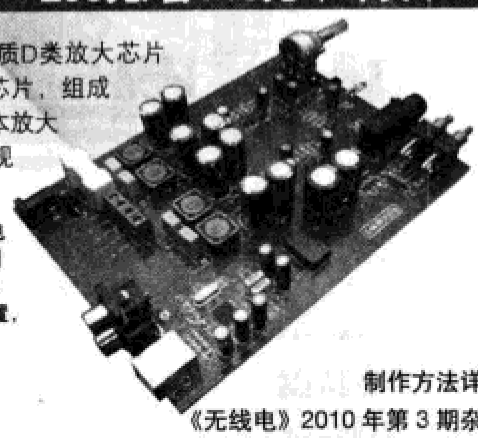


制作方法详见
《无线电》2010 年第 1 期杂志

MINI USB AMP套件——290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的HIFI高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

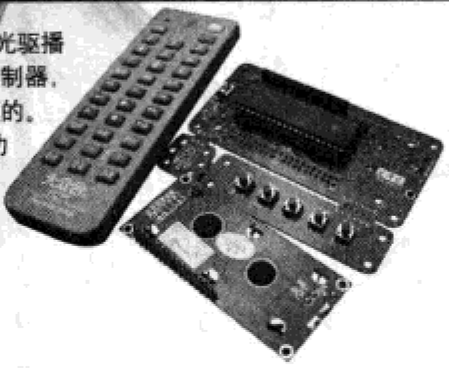
本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为 12 ~ 25V 直流，电流必须达到 3.5A 以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加 60 元。
②增加 USB 接收部分，需加 65 元。
③电位器升级为 ALPS 型，需加 35 元。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

用光驱制作CD转盘套件——99元/套+15元（邮费）

特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放 CD 的控制板，网上称它为 CDROM 控制器，CDROM控制器是通过IDE接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现 CD 机的基本功能，如：显示时间、曲目等；用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

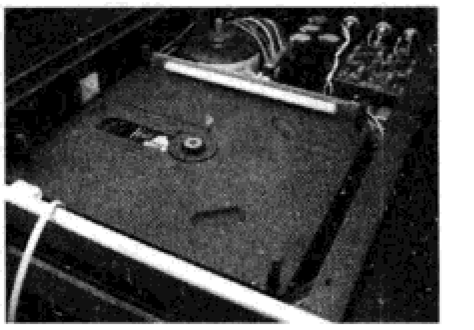


制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

CDM12CD机套件——价格1780元/套+50元（邮费）

特点：本套件是一款适合音响爱好者制作的顶推盖式CD机套件，采用VAM1202型激光头，全铝结构机芯，全铝遥控器，具有一路音频输出和一路数字同轴输出。

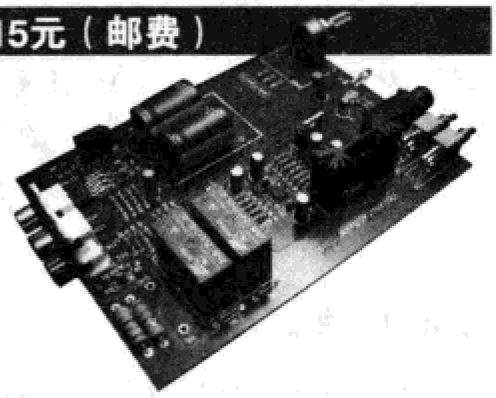
标准版：1780元/套+50元邮费
高阶版：2680元/套+50元邮费



制作方法详见
《无线电》2010 年第 4 期杂志

测量套件——99元/套+15元（邮费）

特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。

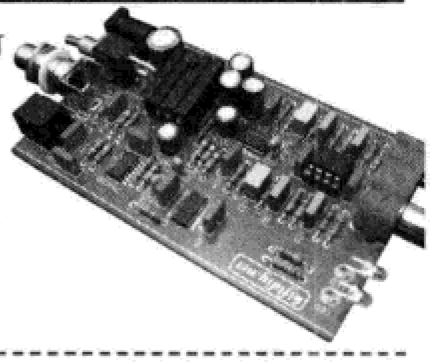


制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

MINI 1793 DAC套件——190元/套+15元（邮费）

特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

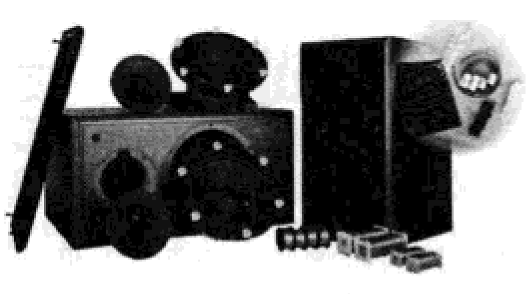
散件套件：（PCB+PCB上所有元件）190元/套+15元邮费
整机套件：（散件套件+变压器+机壳）260元/套+15元邮费



制作方法详见
《无线电》2010 年第 6 期杂志

Clair音箱套件——2980元+100元（邮费）

特点：这是二分频书架音箱套件，高音和低音均采用挪威SEAS扬声器单元，高音单元前面板采用了DXT技术，可以有效地改善高音的离轴响应及指向性，便于与低音单元衔接，减少障板的衍射等。
注：（1）因为套件重量为23kg，所以箱体发物流，扬声器单元发快递，运输费为100元，偏远地区的用户必须到就近的大城市自提套件。（2）套件音箱有4种木质：酸枝、枫木、胡桃及樱桃，购买之前请先与我们沟通。
（此套件需提前预订）



制作方法详见
《无线电》2010 年第 8 期杂志

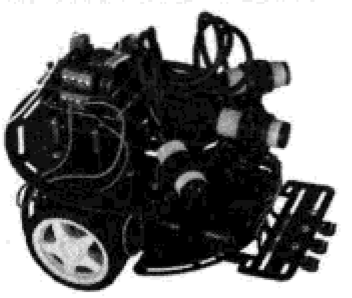
Arduino入门基础套件——380元/套+15元（邮费）

特点：Arduino基础入门套件一款学习工具。它帮助你用流行的Arduino工具体验电子科技无穷的乐趣。所有套件零件无须焊接，直接在面包板上插拔即可，非常适合学习。另外，本套件还附带了10 节实验课程，课程编排完全从初学者的角度考虑，每一节实验都配有图文结合的实验说明文档和非常有趣的例子程序，还有很大可供学习者发挥的空间， 非常适合Arduino互动媒体爱好者、机器人爱好者、电子爱好者学习使用。

制作方法详见
《无线电》2010 年第 10 期杂志

3PA机器小车套件——639元/套+15元（邮费）

特点：3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。



制作方法详见《无线电》2010 年第 11 期杂志

6自由度机械臂套件——1270元/套+15元（邮费）

特点：6自由度机械臂采用高强度铝合金材料，由Arduino控制器加6个微型伺服电机（舵机）来实现控制，分别对应于臂、肘、腕（2个自由度）、张合5个关节和1个旋转底座，每个关节可在一定范围内运动，底座可以实现左右90°旋转。机械臂上的夹持器能轻松夹起最大直径58mm、大小100g以上的物品。这款机械臂可以用手柄或无线遥控模块进行操控，是个非常不错的制作项目和机器人演示教学平台。

制作方法详见《无线电》2010 年第 12 期杂志

本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。欢迎各校师生团购，咨询热线：010-67134361。

触摸屏 为还不会用鼠标的孩子准备的改装技术

摘自《爱上制作2》

带过孩子的都知道，小孩子对外界事物的接受能力特别强。作为一个孩子的家长，我从来不放过任何一个让孩子学习的机会。我本身是一个技术狂，因此我希望我的孩子能够了解这个世界的硬件和软件的一切。

很多家长过度保护自己的设备（当然这很容易理解），但是他们的孩子却因此而丧失了一次学习的机会。他们总是担心小孩会把三明治塞到录像机里甚至自己触电，但是他们却忘了，孩子们只有接触事物和技术才能获得相应的知识和竞争力，而这一切都是在不断地犯错误和从错误中学习而来的。我是一个制作者、一个修改者，为了搞清楚事物的运作机理我已经搞坏了太多的东西。要是害怕孩子搞坏我的数码设备而不让他们去学习，就简直太保守了。

小孩玩游戏

我们的女儿长大的时候，会去模仿她的父母。她喜欢坐在计算机前按键盘，好像她在工作一样。

我们给她买了一个黄色的PS2键盘，每个字母旁边有一幅画（A旁边有个苹果Apple，S旁边有条蛇Snake，D旁边有条狗Dog等）。她想和我们一起工作的时候，我们就把这个键盘拉出来让她敲。

又过了一段时间，孩子快满两岁，我们觉得要给她制作一台计算机了。因此我找出来一个旧的G3 Macintosh，并给她买了好多专为幼儿设计的游戏。

但是我发现她用所谓的“易用”的鼠标总是很费劲，她有时把鼠标拿到屏幕前，当然不会有任何结果。有时一边看着鼠标一边移动鼠标，然后再看着屏幕并把鼠标拿起来。在爸爸妈妈的帮助下，她对某几款游戏很感兴趣，可惜的是我们必须在那里帮她用鼠标。

我对一家卖车载计算机的公司所生产的一系列VGA触摸屏显示器有所了解。这些7英寸或者8英寸的显示器是用在汽车的仪表盘上的，但是我觉得用在G3 Macintosh计算机上也很好。由于这个显示器自带Macintosh的驱动，我就直接连上显示器，我女儿就立刻能自己玩游戏了。

我还自己设计了一个有着大按钮的启动程序，这样孩子就能自己打开游戏了。有个游戏需要她输入自己的名字（作为一个有先见的家长，我给她取的名字只有3个字母），她很快就学会如何把自己的名字输进去，然后敲回车了。

移动娱乐

我的职业和兴趣之一是改装汽车。我没有买道奇捷龙的1800美元的车载DVD配件，而是自己装了一台Mac mini和一台折叠式的触摸屏电脑，这样我女儿就能看高清的动画片《爱探险的朵拉》了。

当今车载娱乐系统的主要特征是所谓多区娱乐，意思是后排的孩子有耳机，这样前排的司机和乘客就可以听另一个音频节目。

我本来是想给她耳机的，但是发现不管是帽子、耳机、太阳镜，还是别的什么东西，要在小孩头上戴东西得花点工夫，我的目的是找到一个办法，为她创造出一个独立的环境，这样我们就能听音乐而不干扰她了。

几乎所有的车载婴儿车的塑料架上都包着一个可清洗的装满泡沫的外罩。受降噪耳机制作的启发，我拆开了一个便宜的耳机把连接环取出来，用胶带将它们粘到婴儿车塑料座的左边和右边，然后再把泡沫装了回去。仅仅花了30来块钱，我就给我女儿的车座升级了，装上了一个复杂的婴儿环绕立体声。我用一个小口延长线把耳机与车载DVD连接起来。现在我前座可以听Mac mini的音乐，后座女儿可以观看自己的DVD。由于左边和右边都有扬声器，孩子自己听自己的，完全不受前座音乐的影响。

婴儿也“疯狂”

女儿很快就喜欢上了这个设备，这使得她可以无穷无尽地听同一首歌。我女儿的某张CD里面，有一首大约2分钟的歌，她可以一遍一遍地听个不停。

可惜的是，我们车里的CD机没有重复播放的功能，尽管这辆小货车方向盘有音量控制键，开长途的时候每两分钟按一次“回上一首”，还是让人很不爽。

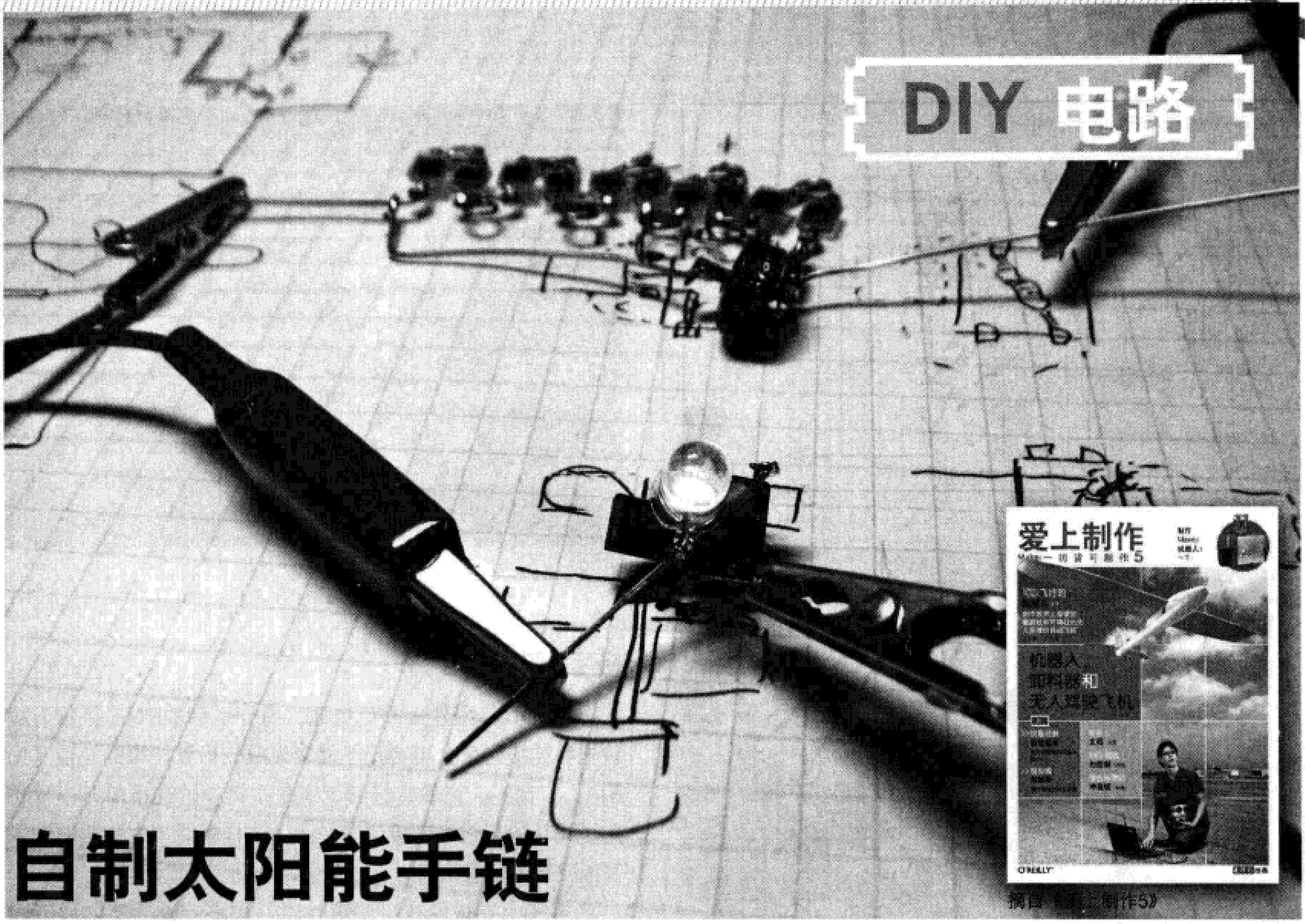
我想给孩子装一个旧的iPod，但是这个接口过于复杂。还好苹果推出了iPod Shuffle，这个Shuffle没有屏幕，很小，更重要的是界面非常简单，只有3个单功能键。

我们现在已经让孩子接受耳机了，这个不是指那种耳塞，我们说的是包耳的那种大耳机。

我们给孩子演示如何播放这个音乐，她需要拨iPod背后的开关来开机，然后按播放键，听到自己喜欢的歌之后，就只需不断地按“回上一首”就能重复收听了。

孩子虽然还在摸索使用iPod的窍门——有时候还会倒得过多——但是现在我们几乎不用去干预了。需要帮忙的时候，我们一般告诉她如何再次去听她喜欢的歌，而不会替她操作（跟她说“按下这个左边的键两次，是你要的歌吗？嗯，好”），然后她就能自己完成了。

译/夏明新



摘自《爱上制作5》

自制太阳能手链

把太阳能模块串起来点亮你的LED首饰

文/埃德温·怀斯　译/夏明新

我的孩子快5岁了，她对杂志上的一根发光手链特别喜欢。于是我和妻子打算制作一款，让她观察我们整个制作过程。我管电路，妻子负责装饰，结果还不错。但是我觉得还是有些改进余地，于是我决定将太阳能首饰与新型Joule Thief技术结合起来，这样LED就能更加亮一些。我自制了一款新型太阳能发光手链，这绝对比商场里卖的要炫！

Joule Thief电路原理

我制作的这根手链会用到一种新型的Joule Thief电路，主要用于能量收集，它能将低电压（比如快没电的电池输出电压）转换成脉冲高电压并加以应用。网上有很多这种Joule Thief的电路图（参见 makezine.com/19/diycircuits_solarjoule）。

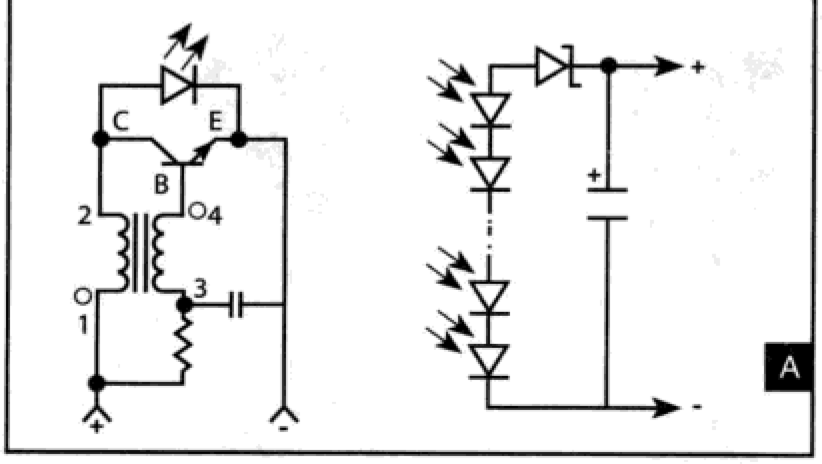
这个电路的核心，是一对缠绕在变压器或者扼流圈上的电感线圈。电流在一个线圈中流动的时候，会产生感应磁场，这个变化的感应磁场使得另一个线圈产生反向电流。Joule Thief电路中，第一个线圈用于提供点亮LED需要的初始电压，而第二个线圈产生驱动三极管形成脉冲的反馈信号。

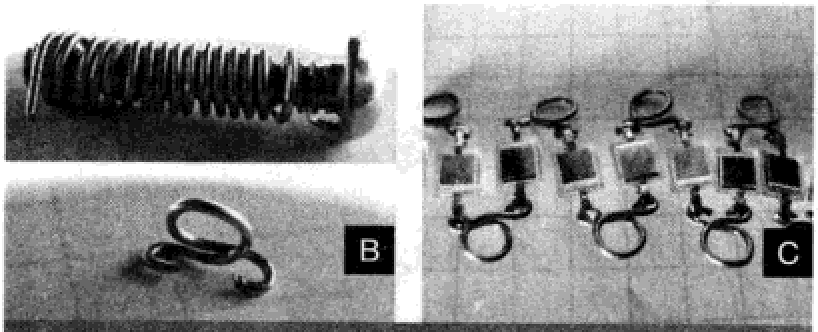
如下是反馈信号工作原理（见下一页图A，左侧）。当电源与电路连接上的时候，三极管是关闭的，扼流圈中间没有磁场，电力也不足以点亮LED。当电流通过电阻流经三极管基极，并初步打开三极管。这样扼流圈的电感线圈的1-2中就有反向电流了，进而导致一个扩展的感应磁场。然后电感线圈4-3中出现感应电流，三极管打开更多。这种正反馈会一直持续到三极管完全打开。

一旦三极管完全打开，1-2线圈中的电流就不再增加，对应的磁场也不会出现，4-3线圈中也没有了反向电流。这样就使得三极管会关闭一部分，而整个反向的反馈环就此开始。4-3线圈中的电流会使得三极管关闭更多，进而防止电流流经1-2线圈。三极管关闭后，电感的磁场会停住，并放出一批电荷通过LED并点亮。这个电流会很快被消耗，而回到下一个循环的起点。

电阻与扼流圈之间的电容用于缓冲反馈行为，并为电感线圈4-3之间的电压变化提供缓冲。

Joule Thief与太阳能电池电路图





图A 每个点代表扼流圈上的表象电压
图B 由实心线绕螺栓弯折剪切形成的线圈
图C 将光敏二极管顺次焊接，并通过圆环导线连接起来

材料：

所有的电容、电阻值都是近似的，偏差一些没有关系。
太阳能收集部分会用到导线：
22号的实心导线，我是将绝缘线剥去绝缘层得到的。
PIN光敏二极管（10个或更多）：Mouser Electronics上的货号是#782-BPW34，网址为mouser.com。
超级电容：.0.22F，Mouser的货号是#598-EDLSD224V5R5C
信号肖基特二极管，Mouser的货号是#625-SB330-E3
漂亮的布料或者其他用于手链的材料
Joule Thief电路会用到：
共模扼流圈，51μH，Mouser的货号是#875-CC2824E513R-10
NPN三极管，Mouser的货号是#512-BC549
电阻，1~3kΩ，功率为1W，比如Mouser的#299-1K/AP-RC
电容，0.01μF的圆形电容，Mouser的货号是#80-C114C103K5R
LED，任何型号都可以，比如Mouser的#604-WP7113QBC/D

工具：

剥线器
小的螺柱
小钳子，用于做圆环，圆头钳子的效果不错
烙铁与焊锡

可选工具：

助焊剂
辅助焊台
电压表、示波器

搭建太阳能电池

首先我来搭建太阳能电池。将一系列的PIN二极管用超级电容连接起来，电容用于储存光敏二极管搜集的能量（见图A，右侧）。光敏二极管就像是手链中的连接单元，我还用了圆环的导线来连接这些单元，这样就能产生弹簧的效果并能较容易地缝到布上。

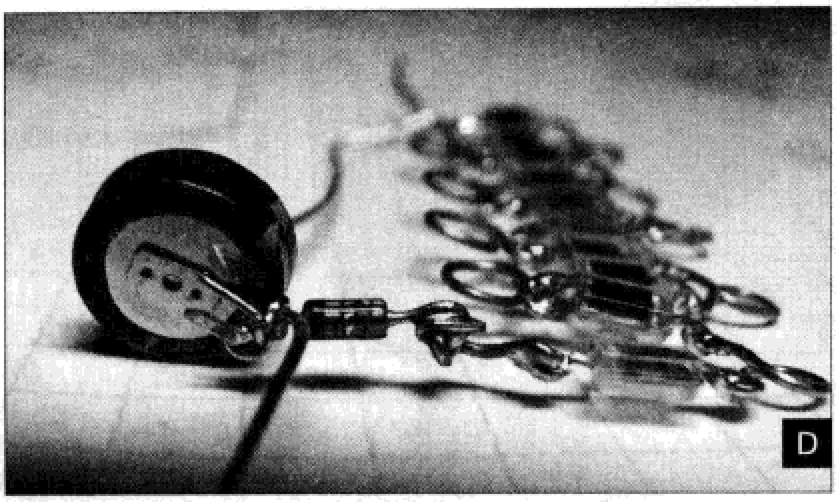
将实心导线绕在小的螺栓上，每隔一圈剪断，形成圆环。然后再将每个圆环的两头弯成既小又容易焊接的钩子（见图B）。接下来顺次焊接10个（再多一些也可以）光敏二极管，正极到负极排列（见图C）。每个光敏二极管上有银色条纹的一端表明是正极。你也可以试试做两列二极管，每两个并联放置（正极对正极，负极对负极）。

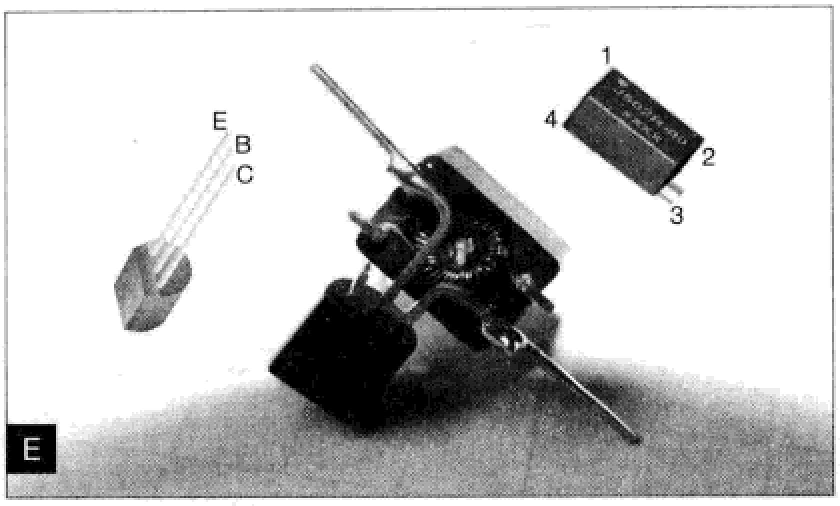
将肖基特二极管焊接到光敏二极管串的正极，黑色条纹（负极）远离光敏二极管放置。肖基特二极管用于确保LED在足够亮的时候电流流进电容，在亮度不够的时候不会回流。任何二极管都能用，但是肖基特二极管前向消耗的电压较小，这样LED上就能分得更多电压。

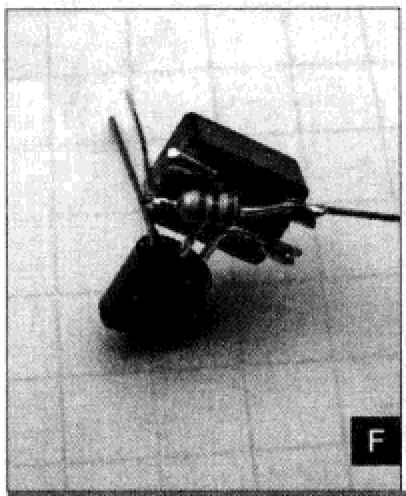
将超级电容焊接上去，正极焊在信号肖基特二极管的负极，负极焊到光敏二极管串的负极。最后在电容两端各焊一根线，用于连接到Joule Thief电路。现在可以将太阳能电池放到太阳底下了。

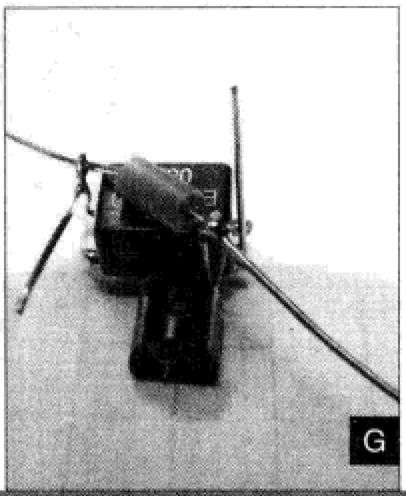
搭建Joule Thief电路

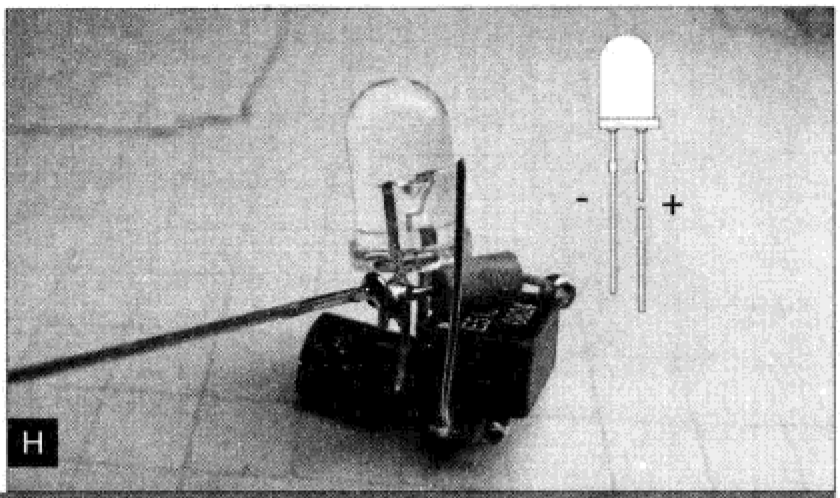
这个制作项目的很多版本中，会需要自己绕变压器。我自己有点懒，于是就买了一个，其实就是一个带铁芯的共模扼流圈。顶上的白点表明是1号引脚，接着的引脚顺时针排列。











图D 焊接上超级电容和肖基特二极管的太阳能电池
图E 将三极管的集极（C）和基极（B）焊接到变压器的2脚和4脚
图F 将电阻焊接到变压器的1脚和3脚之间
图G 将电容焊接到三极管的射极（E）和变压器3脚之间
图H 将LED“首饰”焊在三极管集极与射极之间

首先将NPN三极管的射极向外弯折90°，然后适当弯折集极与基极引脚，以便分别焊接到扼流圈的2号引脚与4号引脚（见图E，注意扼流圈上下翻转后1号引脚和4号引脚的位置变化）。

将电阻放在三极管基极附近，然后将电阻的引脚在扼流圈的一侧弯折，并焊接到1号以及3号引脚上。将3号引脚的多余长度剪掉，但是1号引脚上的要留下，用于连接到电池的正极（见图F）。电阻只要是1～3kΩ的都能用，阻值大会提升一点效率，不过我当时手头只有1kΩ的。

将已完成的部分翻过来，并将圆形电容焊接到变压器3号引脚（或者是连着的电阻引脚）和三极管的射极（见图G）之间。没有这个电容，电路也能工作，只是有了之后效率更加高一些。圆形电容比通常的方形电容要容易放进去，做出来的电路也更加紧凑。

现在到放进LED首饰的时候了。将LED较短的负极向外弯折，并将正极焊接到扼流圈的2号引脚或者是三极管的集电极。将LED的负极焊接到三极管的射极，这个射极指向上的时候比较容易焊接。将LED正极的多余长度剪掉，但是负极的留着（见图H）。

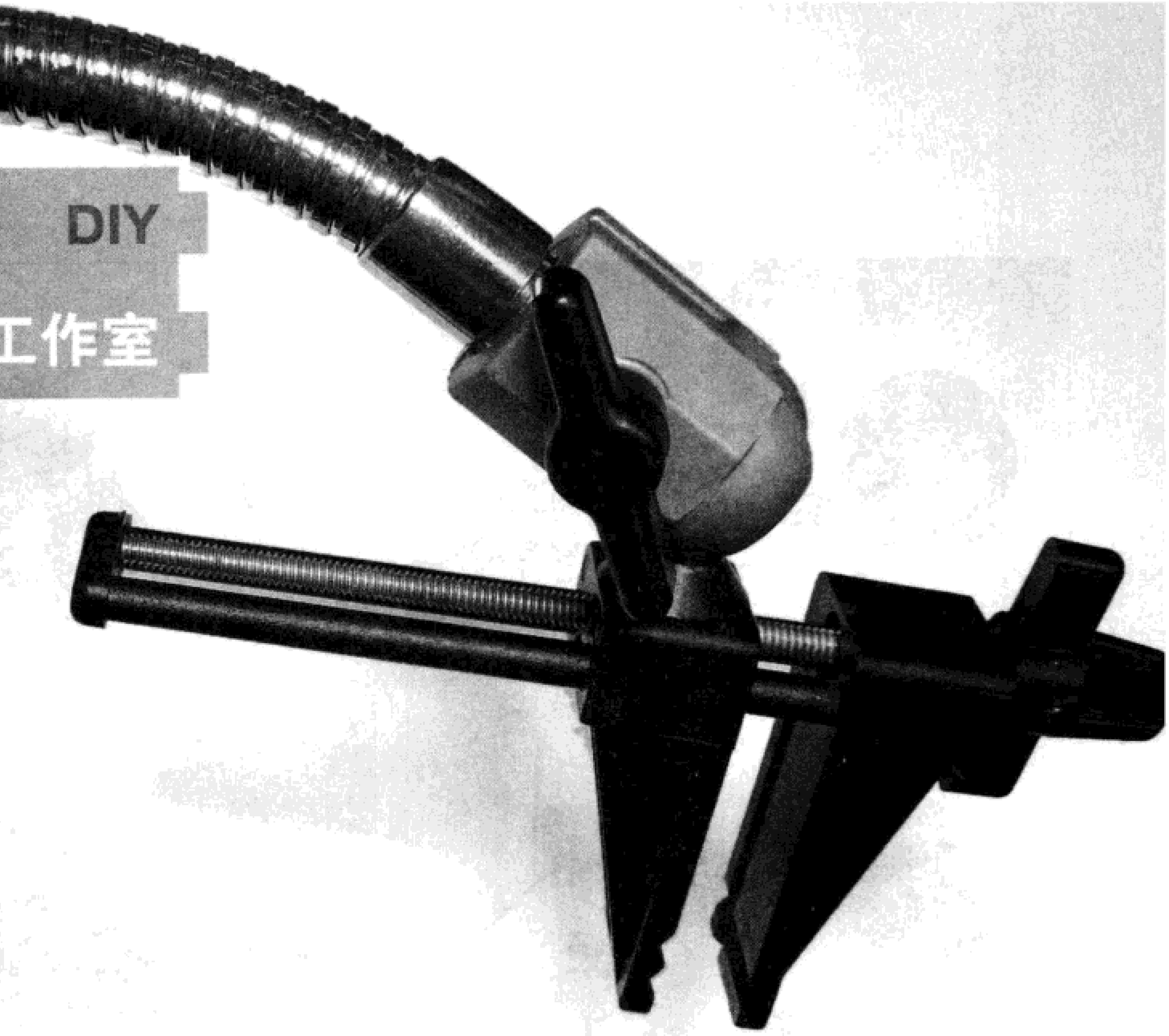
将太阳能手链与Joule Thief电路连接起来

用导线或者鳄鱼夹，将Joule Thief电路与太阳能电池连起来，正极对正极，负极对负极，现在LED应该亮了。如果你用示波器观察LED的正极，应该能看到电压脉冲大约是300～500kHz。由于变得太快，肉眼看不出来这个变化，看到的是LED一直亮着。

如果LED没有亮起来的话，用电压表确认一下太阳能电池上是否有电压。不需要很满，0.5V就可以了，但是第一次需要几分钟的光照时间才能充够电容。如果你电压够了但是还是没有亮，那就要检查一下二极管电容以及扼流圈的电感是不是连接正确。

我省略了项目的最后一部分：材料的安装过程（用布料做成手链），那就是我妻子和孩子发挥想象的事情了。

DIY 工作室



摘自《爱上制作6》

制作你的VIP机械手臂！

◎科林·坎宁安　译/肖伊南

用来夹电路板的老虎钳在进行电子制作时，的确帮了我不少忙。不过有时还是会有点小小的问题，就是当我试图从各个角度观察工程进展情况的时候，只能围着工作台来回跑动。每次项目完工，运动量不小于一场马拉松，这可实在太累了！其实，只要在一把手持式老虎钳上加装几个简易的小装置，你就可以随意地移动整个老虎钳了，并且节省了宝贵的操作台面，腾出更多的操作空间！

步骤如下：

1. **选择装置固定点** 在你想安装机械手臂的工作台表面，标记下安装底盘螺丝孔的位置（见图A）。

2. **钻孔** 用直径为2.5～3mm的钻子，或是用别的工具钻代替也可以。

3. **固定好底盘** 拧紧螺丝钉，用图B中的方式将螺丝钉固定紧（见图B）。

4. **安装鹅颈形伸缩管** 将鹅颈形伸缩管紧紧地与底盘固定，确保它和底盘连接紧密，以便开展工作（见图C）！

所需要的材料：

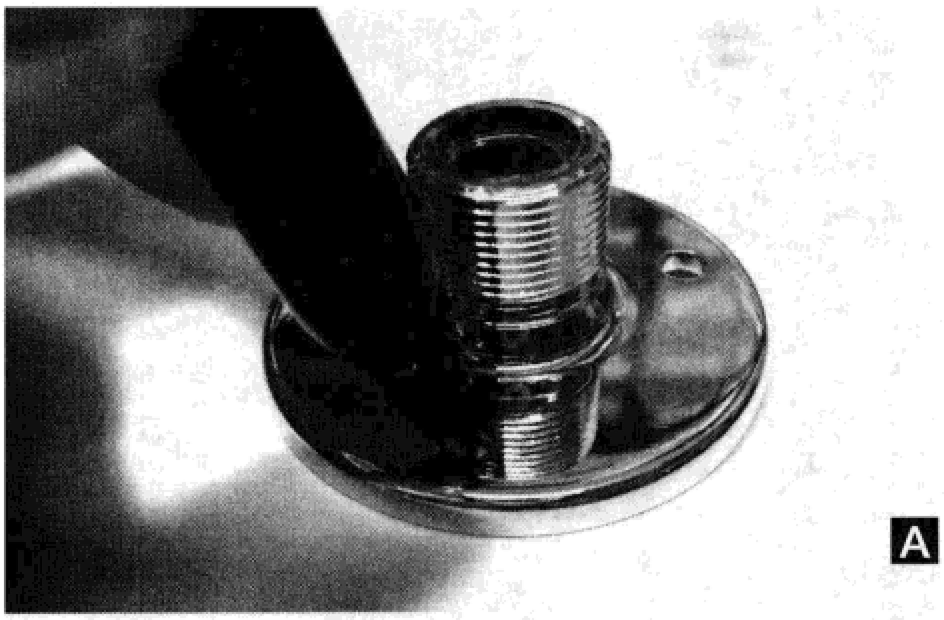
4.2cm大小的安装底盘

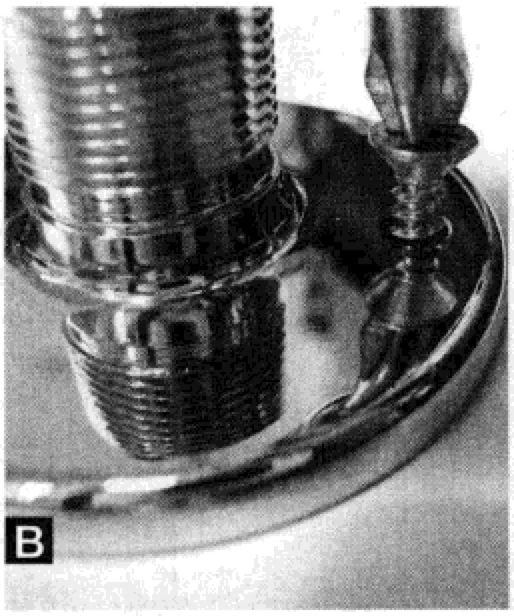
33cm长的鹅颈形伸缩管

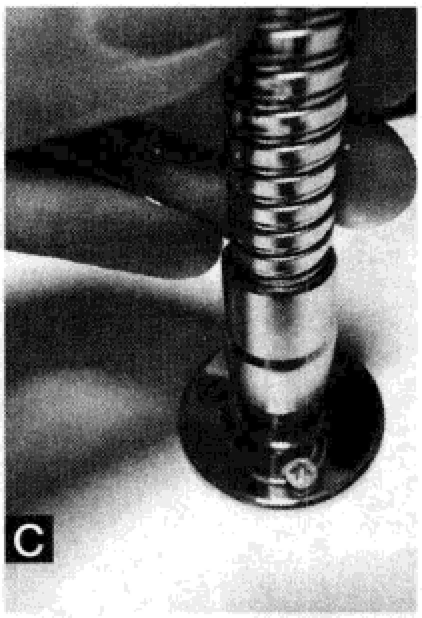
电动钻头

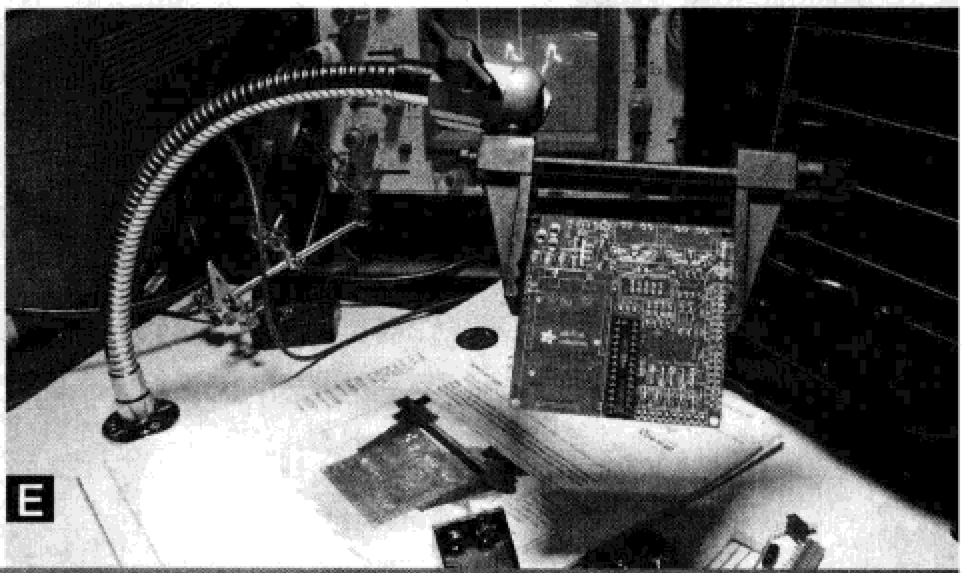
6号或8号螺丝钉

飞利浦电钻或是直径为2.5～3mm的电钻









图A 标记下安装底盘螺丝孔的位置
图B 用螺丝钉固定住底盘
图C 将鹅颈形伸缩管紧紧地固定在底盘上
图D 将鹅颈形伸缩管的另一端与夹钳对齐，并固定紧
图E 用机械手臂夹起你的电路板，试试任意转动下方向

5. 安装夹钳部分 将空置的鹅颈形伸缩管插入夹钳的一端，看准了，要保持伸缩管和夹钳对齐在一条水平线上，然后将它们拧紧。——看起来这个形状有点奇怪，不过别觉得沮丧啊，我用实践证明，这个装置是十分实用的。

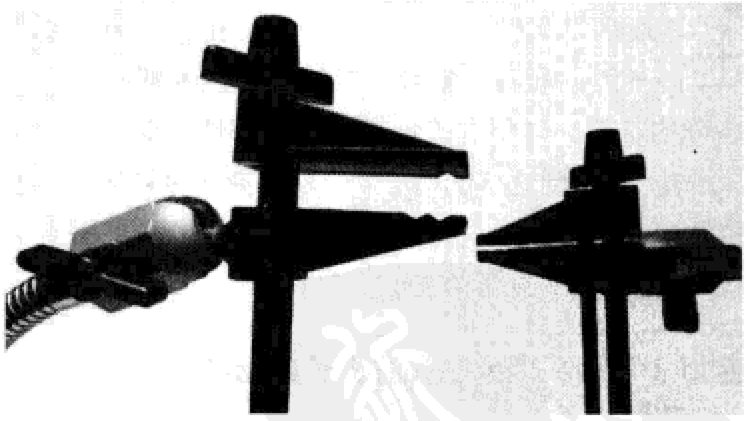
6. 赶紧使用你的VIP机械手臂吧！现在已经完成了一只机械手臂，你还可以把它打造得更加时尚。

看看它能帮你解决什么问题：腾出来的桌面空间，可以用来放零部件、文件，还能放下酸痛的胳膊肘。而且我发现有了机械手臂后，桌面再也不堆满乱七八糟的文件了。

最重要的是——现在，你可以轻松地将操作界面移置眼底视线处，不用再眯着眼、弯着脖子、弓着背工作了，这健康多了！

给你的机械手臂找一个伙伴吧！

别让你的机械手臂感到孤单，如果你有多余废弃的伸缩管的话，在你的工作忙到焦头烂额的时候，DIY第二只机械手，它能让你享受工作空间扩大带来的奢侈感受。



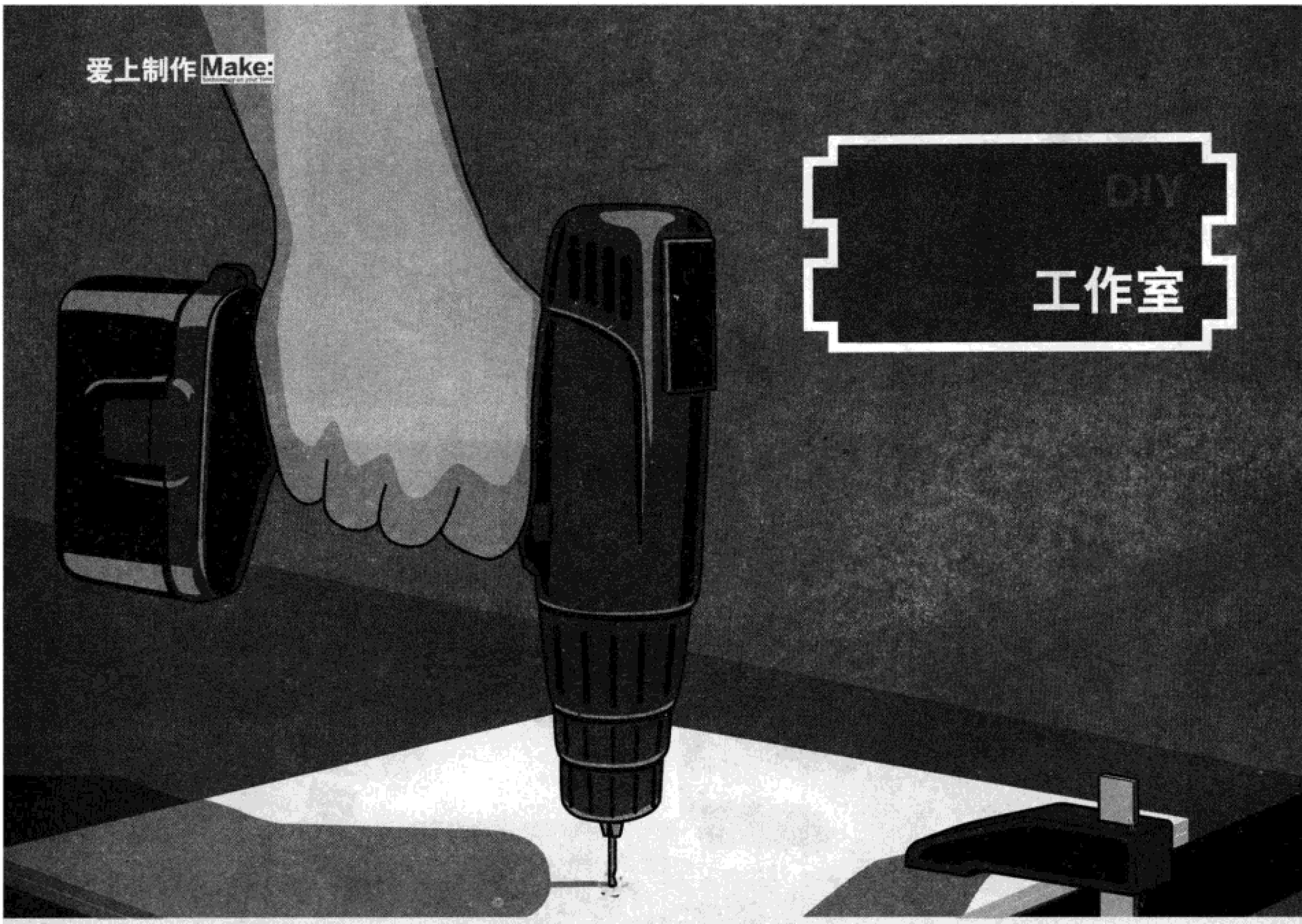
Make: TIPS！

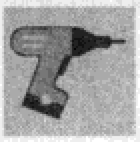
安装小技巧：

怎样钻一个完美的螺丝孔，假如你想毫不费力地钻一个完美的孔，试一试布拉德或子弹牌钻孔机吧。然后，在需要打孔的地方，用钻孔机高速钻孔，直到磨穿表面的第一层木制纤维，留下一个浅浅的打磨洞。然后你就可以照这个打磨洞继续钻，这样就不会打滑了。

——福兰特·乔伊

更多小技巧尽在：http://makezine.com/tnt。





教你钻出误差小于0.01mm的螺丝孔

◎莫斯·奥格里芬　译/肖伊南

任何人都可以用钻机在物体表面钻孔，然而只要再加上一点点想法和练习，你就可以技术娴熟地打造各种各样的钻孔，以便准确地连接各种部件，而且误差小于0.01mm！要达到这样的精准度，你需要一台钻床。一台普通的钻床价格并不高，和一把装电池的钻机一样。只要你按照以下这些步骤，就能精准地钻孔了。

固定好上下两块需要钻孔的板子或物体

当你要钻孔的时候，先把上面的板和下面的板夹紧，或是使用别的方法把两块板对齐，防止它们来回地移动。比如，你也可以在两块板子上压上一个重物，它们就不那么容易移动了。

用打孔设备在下面的底板上做个标记

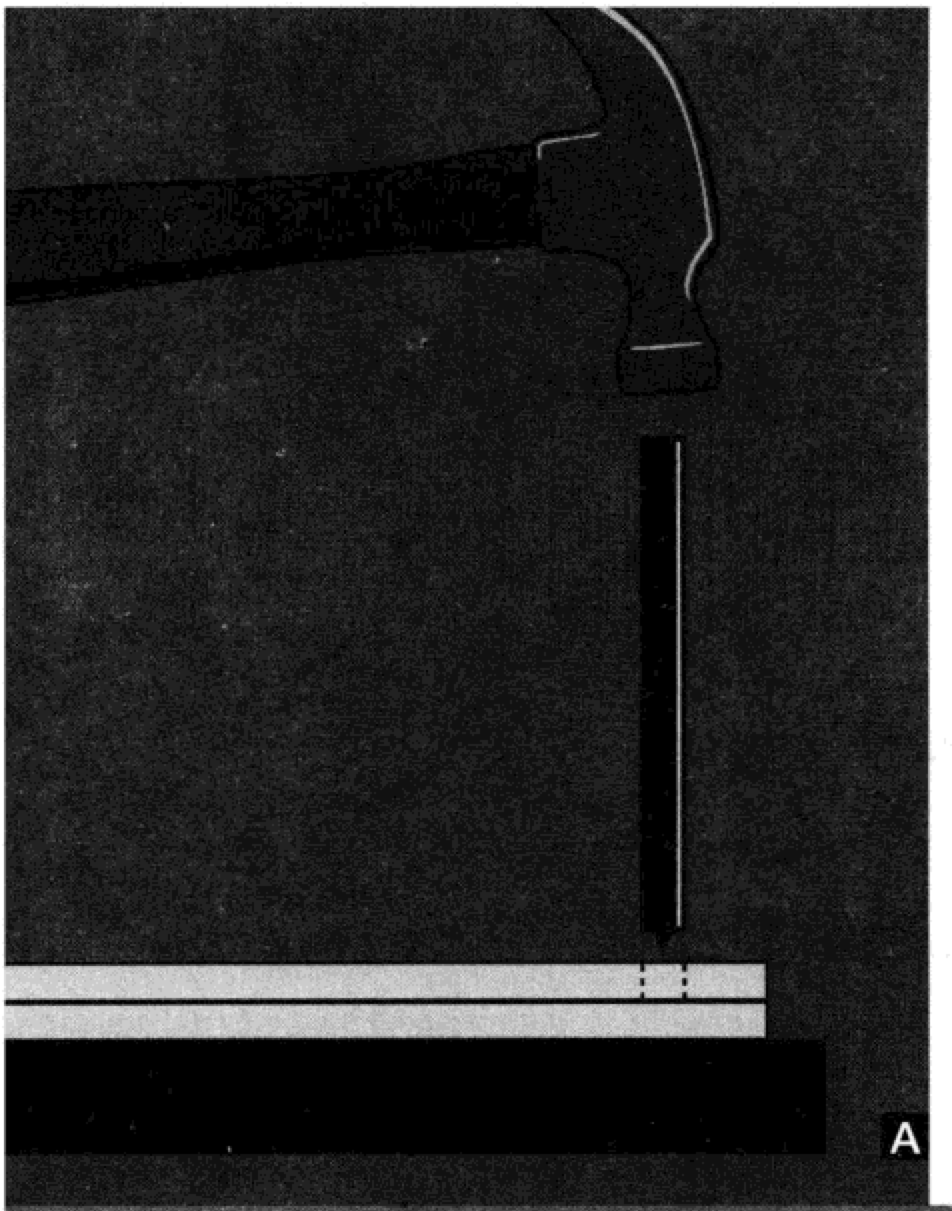
为了能在两块板子上精确地打出两个对齐的孔，你可以用一个直径为6.3mm的小锥子，在每个做标记的孔的中央，轻轻地用锤子锤入板面，可别小看这一个小小的浅窝，这可是非常重要的一步。它可以帮助你更精确地在上下两块木板上垂直地打孔（见图A）。

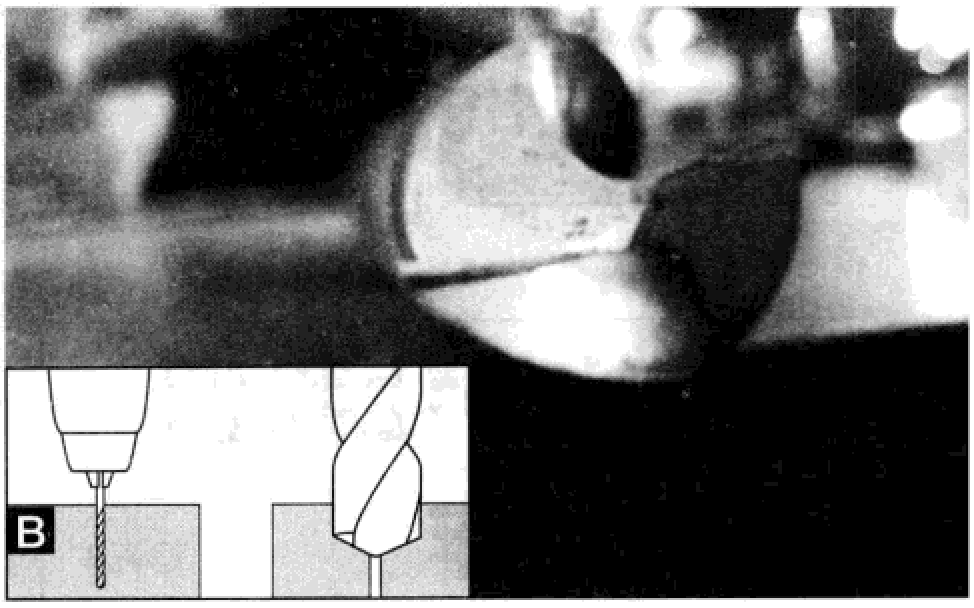
别着急开始先钻个孔试试

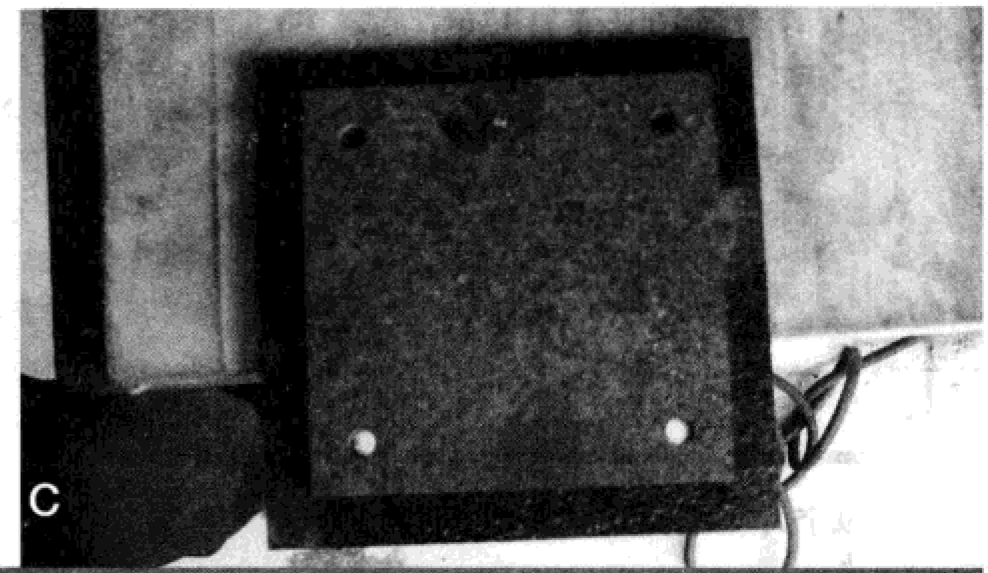
在你正式开始钻孔之前，我们先来看看一台普通钻机的构造。看看我的这把钻机，这是一把钢制的高速钻机，可弯曲 118°，可以更换两种类型的钻头（见图 B)。垂直地看这个钻孔的点，孔下方由钻头钻的这个孔，我们把它叫做卷洞。

注意了，我的小窍门就在这。我现在的这个举动，并不是要开始真正地打孔，这样做是为了使介质表面的材料快速地被挤推出去，这样的话，钻机就能更好地在介质上钻孔了。

然而，钻头虽然可以顺利地将介质的材料快速地排出去，但这股推力也有可能使你想要钻的孔的直径，直接扩大大约6.3mm。因为有可能你钻的时候,视线并非是垂直的，或者在钻孔的时候，你并没有紧紧地固定两个界面，导致它们







图A 用一把直径为6.3mm的小锥子，垂直对准每个做过标记的孔的中央，然后用 锤子锤入面板

图B 在正式钻孔之前，要想开出精准的孔，最好的方式是用一台小号的钻机

图C 先打一个适中的孔，然后慢慢修整到你所需要的尺寸，这样就很完美了

之间有轻微错动，又或者介质本身材质的原因，导致它们容易在打孔的时候产生损耗。这些原因都有可能会使打孔的直径产生误差。假如你需要在精密的仪器上进行开孔，或者你需要打孔的位置十分紧要，不容许出现过多的误差。那么最好的方式是，你先用一台小号的钻机，在界面上试验性地打一个孔。如果有损耗，出来的效果可能就是中号钻机打孔的效果了。那么也便于你进行下一步的修改，因为打孔从小变大容易，要想从大变小就不可能了（见图B）。

在选择打孔钻机的直径时，你需要考虑到两个问题。1）你确实不想在整件作品上，打出一个大小不适当的孔，影响整件作品的性能；2）你又要求这些孔的精准度极高（你要知道，直径越小的钻机，速度就会越快。当然了，也就能更轻松地打出孔来，同时产生的材料损耗也就相应小一些。）。

随着你的技术越来越纯熟，用一把60号的钻机打出一个1.2cm的孔也绝非难事。一般情况下，我在工作的时候都倾向于选择43号钻机，因为在做大部分的工作时，它不大也不小，正合适。当然了，如果我要打一个又小，要求又精细的钻孔，我还是会选择60号钻机的。

怎样打造一个尺寸精准的孔

如果在工作中，你需要打一个尺寸非常大的孔，你可以试验性地先打一些比所需尺寸稍小一点的孔。然后，计算一下打孔过程中损耗的情况，你就能在正式上场的时候，打出你想要的尺寸了（见图C）。

你可以用前面提到的卷筒钻头来估量尺寸的大小，当你最终确定了孔的尺寸时，最好用比你需要的尺寸小一号的钻机来打孔（因为在此过程中有材料的损耗）。完成后，小心地清理掉洞中因为磨损而产生的废屑，你会发现，清理之后这正是你要的尺寸。

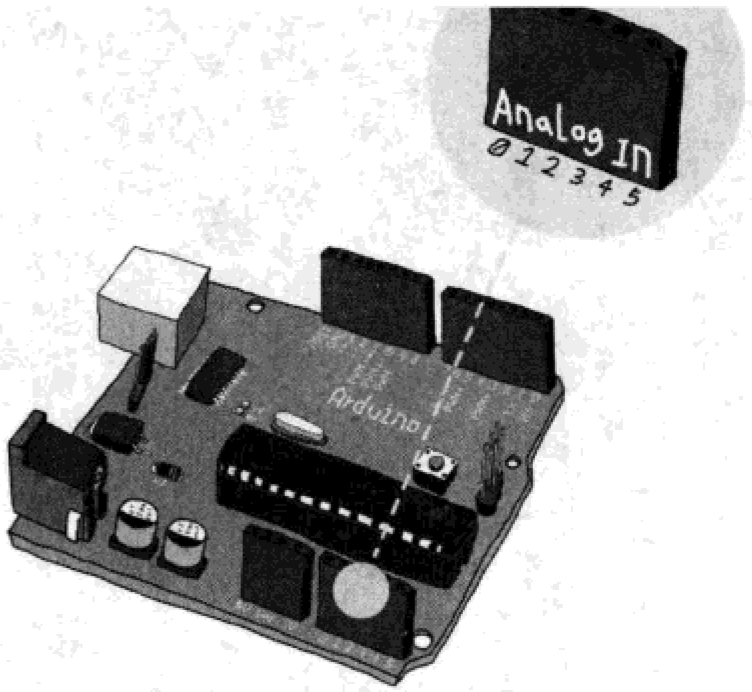
无论打什么样的孔，我们都建议你用钻头锋利的钻机。因为钝的钻头会轻微地晃来晃去（这一点你可能感受不到，但事实如此），产生更多的磨损，打出来的孔也是毛毛糙糙的。在选择钻头的时候，你可以用手来感觉钻头的锋利与否，也可以通过直接的肉眼观察来确定。

Make: TIPS !

怎样保护工具：

在我的店里，我有一个可以伸缩的小包裹。我把那些不经常使用的工具放在这个小包裹里，这样一来就十分轻便了。一把轻便的小喷壶和一个塑料材质的小工具包就可以使这些工具远离灰尘、碎屑，也能有效地防止它们被磨损了。　——弗兰克·乔伊

更多小技巧尽在：http://makezine.com/tnt。



Arduino让我们爱上制作

◎高磊

Arduino是一个开放的硬件平台，包括一个简单易用的I/O电路板以及相应的软件开发环境。如果要打一个比方来形容它，我们可以将Arduino与大家熟知的51单片机开发系统放在一起来对比理解，就如计算机系统中Linux系统之于Windows系统的对照。Arduino可以被用来开发能够独立运行并具备一定互动性的电子作品，也可以被用来开发与PC相连接的外围装置，目前较广泛地应用于欧美、日本等国家的电子设计及互动艺术设计领域。

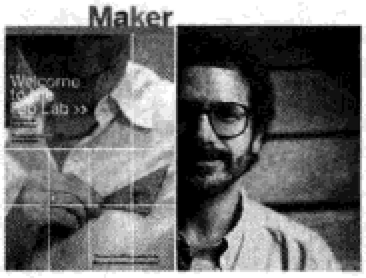
人民邮电出版社出版的《爱上制作》系列图书中，很多新颖有趣的制作就是利用Arduino来完成的。本期杂志中，笔者与大家走近Arduino。

从个人电脑到个人制造

在这个几乎人人都有电脑的时代，我们生活里的众多事务已经交由基于电脑、互联网的服务来处理完成：从网站预订明早的机票，在itunes音乐商店买张盼望已久的重制专辑，在线服务让出门寄信也有了怀旧意义，iphone与ipad之类设备又让个人电脑的使用像打开书架上的书一样轻松自然。在电脑完全融入生活的现在，操作被设定好功能，外形的家用电脑已经不再是问题。

MIT（美国麻省理工学院）的Neil Gershenfeld教授提出了一个个人制造的概念：电脑主机从占地百十亩、重量几十吨到小得一个桌上能摆好几个，这个桌面革命没用几十年，在不久的未来，自己用电脑芯片做小玩意将是下一个桌面革命。他判断那些制造昂贵且具有巨型电脑主机的专业工具，也会像当年几十吨的主机渐进到当今几公斤的个人电脑一样，变得能够让普通人轻易接触，从而让人人都能拥有和操作工具，制造属于自己的电脑（或者任何东西），甚至于自己在家里造一台iphone。

他说这话的时候是整整5年前，之后世界各地出现不少在这个理念下设立的FAB LAB，而不少没听说过FAB LAB的人，也早已经在自家车库动手改造电脑、写程序、装配电子元件和机械结构，开始个人制造的尝试。



Neil Gershenfeld

由个人制造的电脑设备，跟个人电脑的最大不同在于，它可以是任何你希望的形状，有着为你量身定做的功能。也就是说，它不再是全功能的设备，只为处理某件对于我们特别重要的事项而诞生，甚至它不再被叫做电脑，而是折纸、橡皮泥、蜡笔。我弟弟在小学手工课上不怎么认真听讲，因为老师教的都是不疼不痒的折飞机、捏橡皮泥，但他想要的是机器猫的竹蜻蜓和任意门。其实，我也幻想过做那么一两件在脑袋里忽闪来忽闪去的小玩意儿，比如把屋外的风声变成一首歌，用歌声控制字体变化，或者做个夜里闪闪发亮又能照明的发带。

之前，如果我老爸想要一台自己设计外形的mp3播放器，可能只能在睡着的时候才能成真，但到了个人制造时代，不仅自己设计制造mp3播放器，连叫上我那当家庭主妇的妈搭建一个房屋智能安全系统，或者制造个人飞行器，也是有可能的。也就是说，使用电脑已经从敲击键盘、两眼盯着屏幕，开始转到生活里的方方面面。

举个例子。一位谈不上有多专业的自然科学伪爱好者小刘，出于谁也不知道的原因，想做一项每晚家猫进出门次数的统计记录，假设他有至少三种选择完成统计：一，蹲守；二，购买专用设备；三，自己设计制作。第一个办法——小刘不仅平时很忙要上班，而且也顾及别人的眼色，所以他知道蹲着瞧猫一晚上出门几次实在是挺神经病的做法。第二个办法——小刘不仅是个上班族，还养着一个女朋友，他也没到为了“病态“小爱好奋不顾身花钱的地步，买个监控设备，没门。第三种办法——小刘自己组装电子硬件，编写程序，构建一台最能满足需要的设备。没错，我知道，这对在广告公司上班的设计师小刘来说，既有挑战，又像是在讲笑话。

一台设备至少由两部分构成，硬件和软件，组装硬件和编写程序，对多数人来说都还是个麻烦事。所以问题是，小刘怎么才能自己制造这台电脑（设备）。

我们选择了Arduino

Arduino是一个极佳的选择。

最近几年，一个叫Arduino的微型控制器出现了，它以ATM芯片为处理器，有着多个输入、输出端口，体积小到一个手掌就放得下。如果拿家用主机做比照，Arduino有着近似的功能构造，它能接键盘、鼠标、摄像头、红外线测距传感器、超声波传感器、LED、LCD，扬声器、GPS、WiFi、蓝牙、Xbee等的输入设备（当然还有更多，比如声音、温度、风力、力量等传感器），也能接显示器、扬声器、电机等输出设备。我们可以为它下命令（编程），让它依照我们的意愿做事。比如，给它接一个风力传感器和一个扬声器，告诉它，当传感器感知风力达到2级的时候，就用扬声器播放音乐，之后把它放到屋子外面，每当刮风的时候就能听到它的歌声。 而最为关键的，Arduino的硬件构造很简单，简单到几乎每个人都可以使用它，把传感器接入Arduino的输入端口就像把USB插入电脑一样顺手。它还是开放源代码的硬件，每个人都可以根据需要做些改动（前提是有相关知识背景），比如为它添加一个插入SD卡的卡槽，直接内建蓝牙，或者干脆换上更强劲的处理器。

运行在电脑上的Arduino软件有一个简洁的编程窗口以及简单的编程语言，通过它为Arduino写程序变得比为传统的微型控制器写程序简单多了。 但事实上，很多时候我们用不着自己写程序，因为Arduino是一个开放软件源代码的项目，世界各地的使用者把自己做东西时用过的代码上传共享，我们只要找到类似案例，下载后依状况修改，上传，完工。

Arduino能做什么

这里有一个论调，说在当今这个大商品生产时代，一味追求分工和效率化，导致了身体自主性的丧失，从而影响了人的创新思维。于是最近几年，在设计中边讨论边动手做出原型的理念日渐盛行，由于Arduino的易用性与扩展性强，它的出现使得制作原型变得更快、更好、更简单。用它制作原型是产品开发构思的一种手法，同时它还担任着辅助设计师与工程师沟通交流的角色，那些对电子硬件及编程一窍不通的设计师，还有对设计师层面的工作不甚了解的工程师，可以通过共同使用这个简单易用的开发平台，找到更好的沟通与合作的切入点。

笔者所在的日本庆应义塾媒体设计研究院，Arduino成了继纸笔、橡皮泥、视频演示之后，参与项目创意、实施阶段的又一重要工具。例如，在创意阶段，使用Arduino快速组装出一个具有期望功能的简单原型，放置到预定的使用环境中，根据获得的反馈及时修改，确定下步设计走向。而作项目汇报时，仅仅口头描述和视频展示的说服力也不够强，用Arduino快速做一个小装置，把项目的意愿实现出来，实际演示，展示效果，更能说服人。这种用原型来做验证的工作方式不仅在IDEO这类著名的设计公司里十分盛行，同时也是组成Design Thinking这个当今极为流行的设计方法论的重要一环。

由于它极强的易用和扩展性，也成了众多电子工程师、手工制作爱好者的新玩具。在美国知名的电子制作杂志Makezine的博客上，每天都能看到用Arduino制作出来的新玩意。而从2009年开始，我参加了由Makezine日本版所举办的电子制作爱好者大会，体育馆大的会场里分成几十个摊位，个人、团体、公司、电子工程师、程序员、设计师、艺术家汇聚一堂，守着自个的小摊位，上面放着从机器人、飞行器、自行车POV，还有电子乐器、趣味玩具、玩偶、标本、趣味电子装置等手工制品。此外，还有教人焊接电子零件的工作坊，出售相关图书的专柜，研讨Arduino与iPhone连接的讲座、新书发布会等。而2010年的第5次大会，配合日本活跃的互动设计师、教育家小林茂的《Prototyping Lab》（一本介绍用Arduino制作产品原型的新书）的发表，同场展出了日本年轻一代互动设计师、艺术家的作品，他们的共通点都是使用了Arduino或类似的技术。

Arduino的现状与未来

Arduino 的出现，大大降低了互动试验的门槛，越来越多的艺术家，设计师也开始使用 Arduino 制作交互艺术品，装置。即使国内最传统的设计、艺术院校，也不时传出开始使用它们来实现想法的声音。而 Processing 和 openFrameWorks 的出现，又提供了一个简单又足够强大的软件试验平台。当设计师、艺术家的才华与更加强大并符合时代发展背景的工具相结合，从产品开发或者艺术创作角度出发，都有理由对未来给出一个相当正面的期待。以下地址可以看到最新的使用 Arduino、Wiring 配合 Processing、openFrameWorks 制作的作品。

http://wiring.org.co/exhibition/

http://processing.org/exhibition/

http://www.openframeworks.cc/gallery

Wiring，有着与Arduino几乎相同的硬件构造和编程环境及易用性，它的性能比Arduino优越，同时也是Arduino研发的前身，但由于价格昂贵以及推广策略的不同，并不如Arduino流行。而今，我们不仅能在电子工程师的桌子上看到Arduino的身影，它还出现在在设计公司的办公桌上、在大学的课堂上、在艺术家的工作室、在手工爱好者的抽屉里。

Arduino 从哪里来

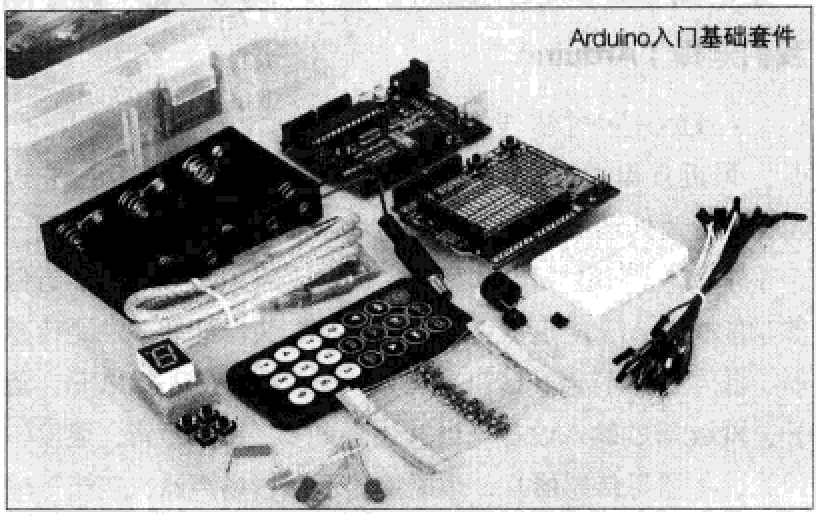
◎sean 编译

Arduino的出生带有那么一点传奇色彩。

Banzi 是意大利一所科技设计院校的教师，他的学生常常抱怨不能找到一块价格便宜且功能强大的控制主板来设计他们的机器人。2005 年的冬天，Banzi 和 David Cuartielles 讨论到这个问题，David Cuartielles 是西班牙的微处理器设计工程师，当时在这所学校做访问研究。他们俩决定自己设计一个控制主板。他们找来了 Banzi 的学生 David Mellis，让他来写编程语言。David Mellis 只花了两天时间，就完成了代码的编写，然后再花了 3 天，板子就设计出来了，取名为 Arduino。很快，这块板子就受到了广大学生的欢迎。这些学生当中那些甚至不懂一点计算机编程的人，都用 Arduino 做出了"很炫"的东西：有人用它控制、处理传感器，有人用它控制灯闪烁，有人用它制作机器人……之后 Banzi、Cuartielles 和 Mellis 将设计图传到网上去，然后花了 3000 欧元加工出第一批板子。

Banzi说，他们当时加工了200块板子，卖给学校50块，还在担心剩下的150块怎么卖出去。但是几个月后，他们的设计作品在网上被传开来，接着他们居然收到了几个上百块板子的订单。这时他们明白——它是很有市场价值的。所以，他们决定开始Arduino的事业，但是有个原则——开源。由于当时的产权法只有软件开源的相关规定，还没有硬件开源的规定，他们决定使用"署名-相同方式共享"，它规定任何人都可以复制、重设计甚至出售Arduino板子。人们不用花钱购买版权，连申请许可权都不用。但是，如果你加工出售Arduino原板，版权还是归Arduino团队所有。如果你是基于Arduino设计上修改，你的设计必须也受到相同或者类似于"署名-相同方式共享"的约束，让你的设计作品和Arduino一样开源。

Arduino控制的机械臂和3PA机器车套件

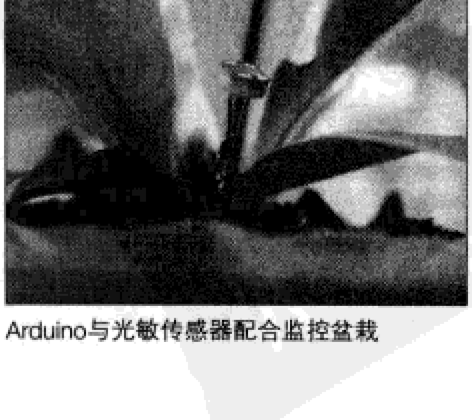


Arduino设计者们唯一所有的就是"Arduino"这个商标。如果你的设计也想用Arduino命名，那么你就得支付费用。这样做是为了保护"Arduino"这个商标不被低劣的作品损坏。

对于最初决定硬件开源，几位设计者也有不同的动机。Cuartielles认为自己是个左倾学术主义者，不喜欢因为赚钱而限制大家的创造力，导致自己作品得不到广泛的使用。"如果有人要复制它，没问题。复制只会让它更出名。"Cuartielles在某次演讲中甚至说："请你们复制它吧！" Banzi则恰恰相反，他更像一个精明的商人。他现在已经退休了，不再教书，开了一家科技设计公司。他猜想，如果Arduino开源，相比那些不开源的作品，会激发更多人的兴趣，从而得到更广泛地使用。还有一点，一些电子狂热者会去寻找Arduino的设计缺陷，然后要求Arduino团队做出改进。利用这种免费的劳动力，他们可以开发出更好的新产品。

实际情况也正如他所料，几个月内，很多人提出重新布线、改进编程语言等建议。后来有个销售商要求代理Arduino产品。2006年，Arduino方案还获得Prix Art Electronica电子通信类方面的荣誉奖。那年，他们卖了5000块板子。第二年，他们卖了30000块。它们被电子爱好者用来设计机器人、调试汽车引擎、制作无人飞机模型等。后来又出现了一些有趣的公司，有个叫Botanicalls的公司基于Arduino开发出了一种监控室内盆栽的设备，并且在需要浇水时发出电话通知。

Arduino在电子爱好者中再次掀起了DIY的潮流，得到了Make magazine（中文版名称为《爱上制作》）等出版物和Instructable等网站的认可及推荐。



Arduino与光敏传感器配合监控盆栽

伺服电机 让你的机器人更有力量

文/摄影：托德·E.库尔特　译/夏明新

摘自《爱上制作6》

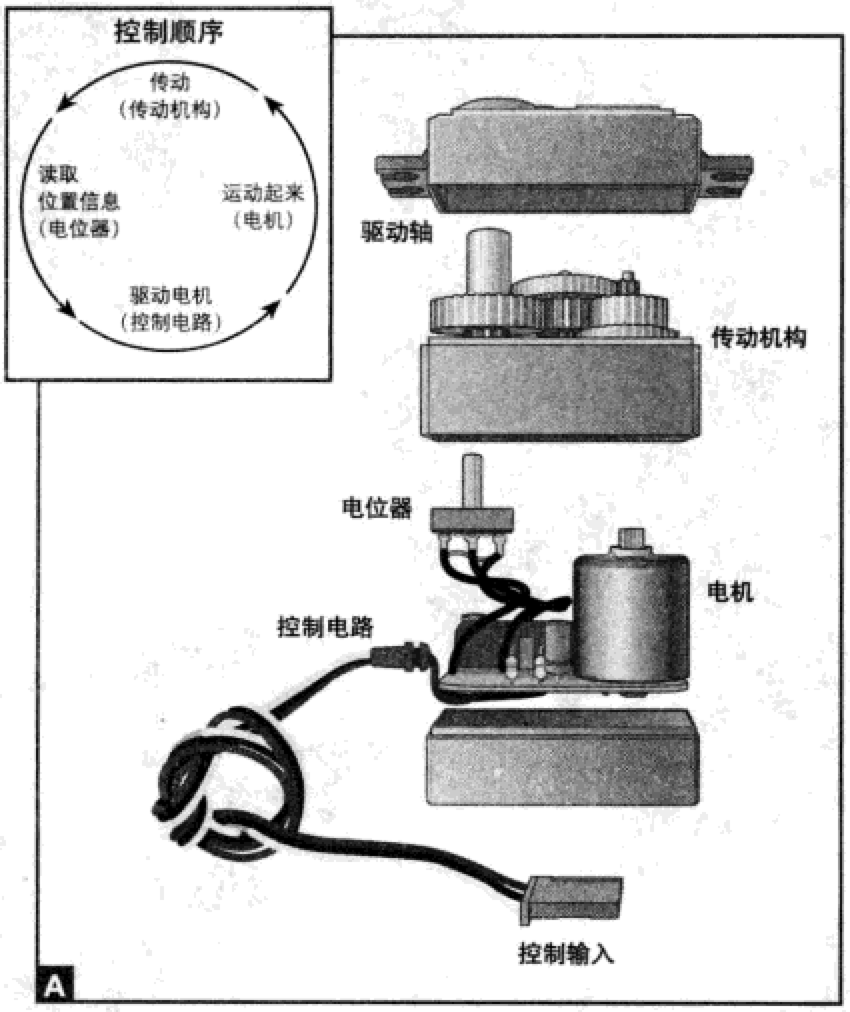
当你听见电机运动时的那种标志性的“吱、吱、吱”声时，是否会想起机器人或者玩具里的伺服电机？遥控伺服电机是为无线控制的车模、航模而设计的，已经成为制作自动控制系统、电影效果、木偶效果的一种常见材料。

伺服电机不像常见的电机那样转，而是根据收到的命令来旋转，或者停止在0°～180°角的某个角度。伺服电机是让一个东西动起来的最简单的方法之一，而且可以选的伺服电机种类也很多。

伺服电机还可以经过稍稍的改动就变成高质量的、数字控制的变速电机。这篇文章里我会解释如何使用伺服电机，也会讲解如何让伺服电机连续转动。

理解伺服电机

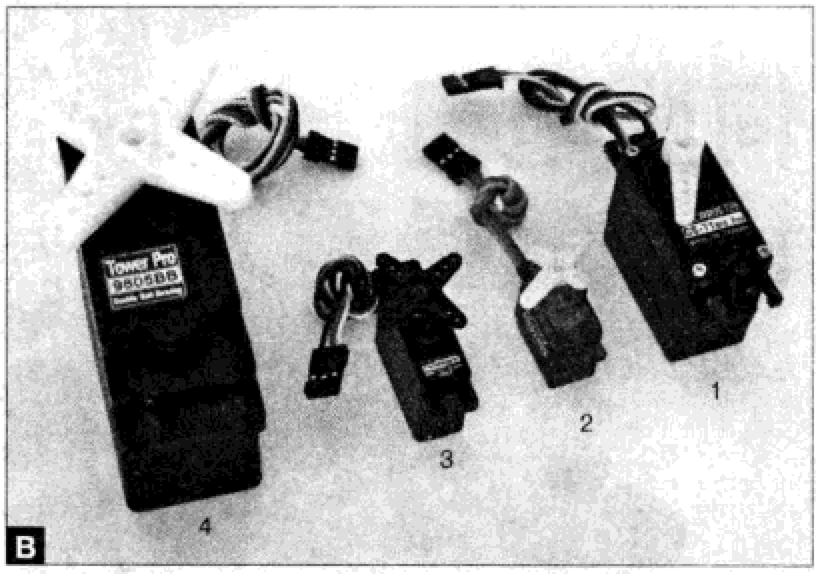
无线伺服电机运用了多种技术，包括了直流电机、传动机构、传感器以及控制电路。这是一种伺服系统，利用了反馈控制环来调节系统功能。伺服系统典型的例子是温控加热系统，里面的温度传感器提供反馈，而加热元件提供输出，根据温度传感器得到的信息选择启动或关闭加热元件。对于无线伺服电机来说，传感器的输入是一个电位器，用于度量电机的旋转位置。控制电路读到电位器的阻值，然后根据目标位置调节电机的转向与转速。图A是一个标准的伺服电机的展开图以及闭环反馈控制环路。



选择伺服电机

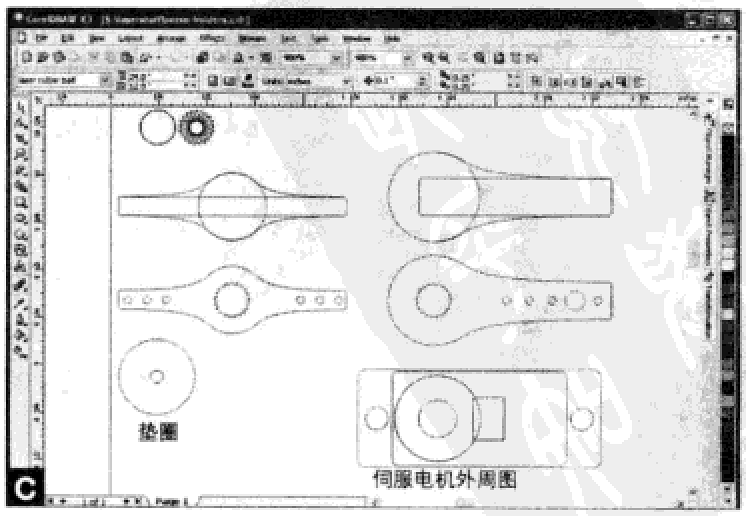
伺服电机的形状及大小各异（见图B），常见的是标准伺服电机（1）。最小的伺服电机是微电机（2，3），最大的是高扭矩的（4）。所有的这些伺服电机都有同样的三线控制，因此根据需要更换小型或大型的伺服电机还是很方便的。

除了大小和重量之外，伺服电机还有两项重要的指标——扭矩和转速，这些由伺服电机中的电机和传动机构来决定。扭矩就是伺服电机的力，标准的伺服电机工作在5V的时候扭矩为5.5kgf·cm。标准的速度是工作在5V的时候，需要0.2s/60°。总体来说，大个的伺服电机速度比较慢，但是扭矩大。你在明确自己需要什么之后，就可以选择伺服电机的个头、等级了（标准型/微型/高扭矩型），然后在可选的里面挑个最便宜的。这些项目里我用的是微型的HexTronik HXT500伺服电机，扭矩为0.8 kgf·cm，转速为0.1s/60°。



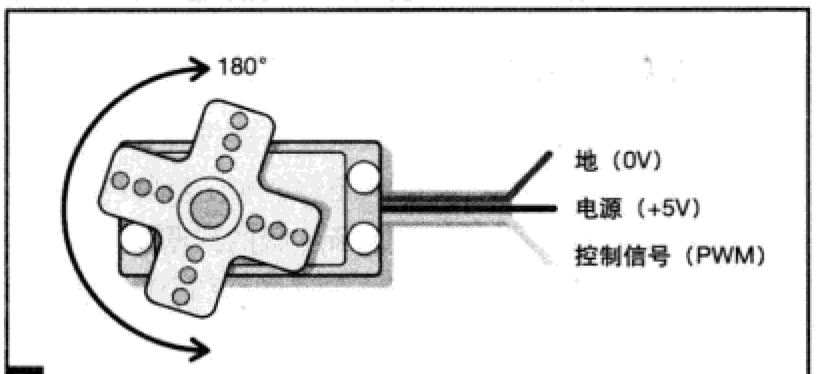
伺服电机的安装与连接

如果要想让伺服电机带着东西转动，你需要两样装备。一个是伺服电机座的安装架，另一个是连接到移动的部件旋转轴的连接装置。伺服电机本身座上自带安装孔，可以用螺丝连接。如果仅仅是用来做实验的话，用热熔胶或者双面胶固定伺服电机也没有问题。伺服电机上还有些被称为摆臂的装置来连接转动轴。这些摆臂能连到轴上，臂上还有安装孔，在安装孔上连接一个直杆或者连线，就能将伺服电机的旋转运动转化为直线运动了。不同的摆臂和安装孔导致的运动幅度也不一样。自己做摆臂很简单，你可以用矢量图软件做一个星星的形状，直径和安装孔的数目和电机驱动轴对应上就可以了。这个星形就是轴连接器，其他自定义的连接装置也能在轴附近加上去（见图C）。



如何控制伺服电机

伺服电机是三线接口的，如图D所示。黑线（或者是棕线）连接“地”，红线连接+5V，黄线（或者是白线或桔黄线）连接到控制信号。控制信号（如图E所示）是一种脉宽调制（PWM）信号，任何微控制器都能产生。本文中我用的是Arduino微控制器。



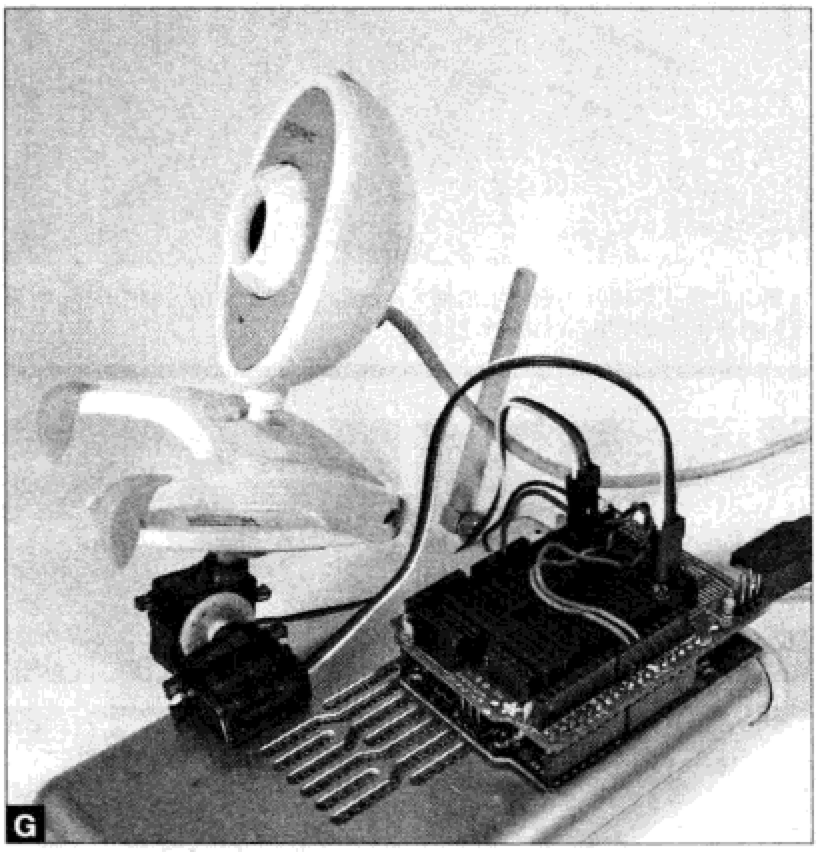
D

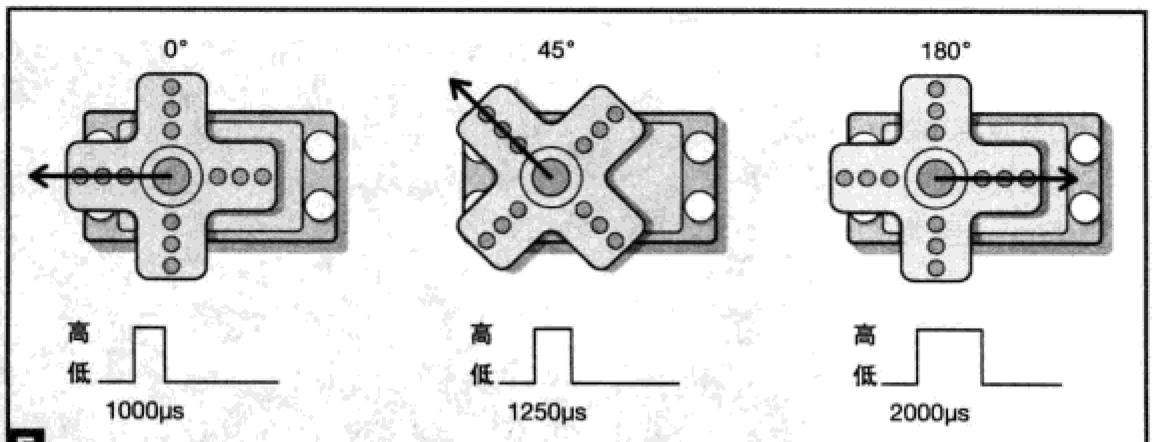
脉冲的高电平部分持续时间在1～2ms，也就是1000～2000μs。1000μs的时候，伺服电机会逆时针转到底，2000μs的时候会顺时针转到底。还有一些伺服电机能接受的脉冲宽度更短或更长，因此能转动更大的范围。

控制脉冲的低电平持续时间为20ms。伺服电机每20ms（每秒50次）必须接收到高电平信号，否则电机将断电，并且不能维持原来的位置。这个功能在你的项目做休眠功能的时候很有用。我们将电机的红线和黑线连到Arduino的+5V电源和接地的引脚上。控制信号线连到数字输入输出脚第9号引脚。这个Arduino程序的主要问题是大部分的时间都在延迟命令上。幸运的是Arduino自带的伺服电机库中，可以用自带的定时器控制两个伺服电机（9号引脚和10号引脚）。

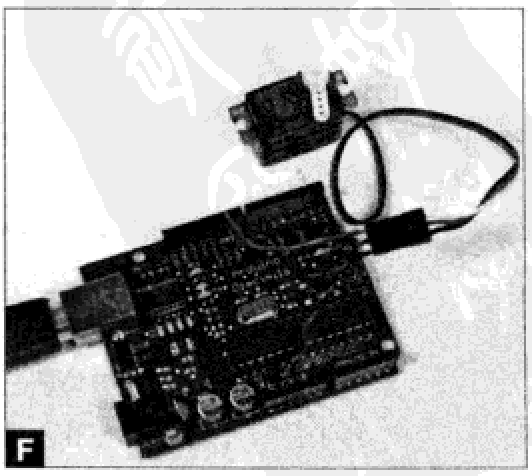
使用伺服电机，摄像头的全景控制

这里有一个小项目，里面用两个伺服电机和一块Arduino控制板，控制摄像头的全方向运动。用热熔胶将一个摆臂粘到摄像头底部，同样将另一摆臂粘到伺服电机的侧边。另一个伺服电机粘到一个底座上。接下来将所有的摆臂都装到伺服电机上，全景控制摄像头就完成了。图G是一个样例，这是一个拿华硕无线路由器做的网络全景摄像头，里面运行着OpenWrt Linux。摄像头和控制伺服电机的Arduino控制板，都通过USB连到USB集线器再连到路由器的USB口上。注意在写程序时需要等待串口接收两个字节的数据，即第一个字节是平移伺服电机控制用的0～180的数值，而第二个字节是倾斜伺服电机控制用的0～180数值。


G

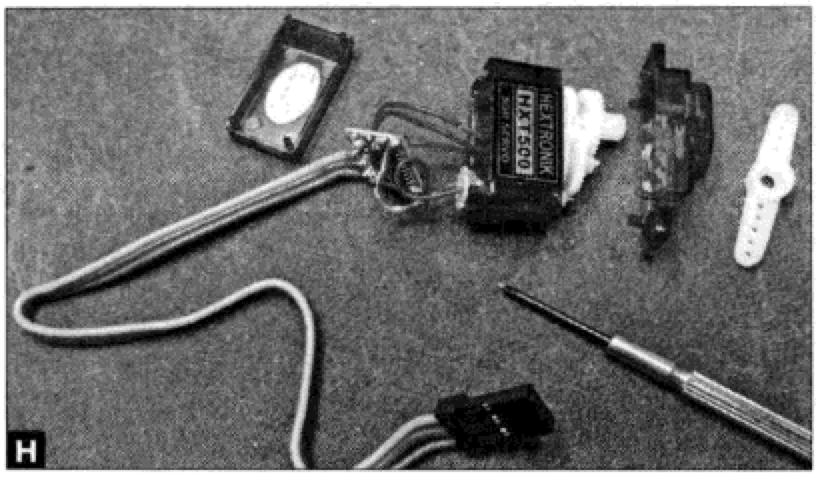


E

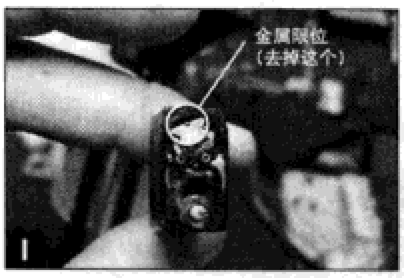

F

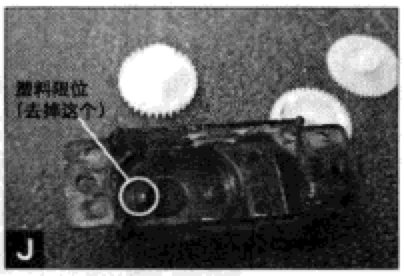
将伺服电机改成连续转动

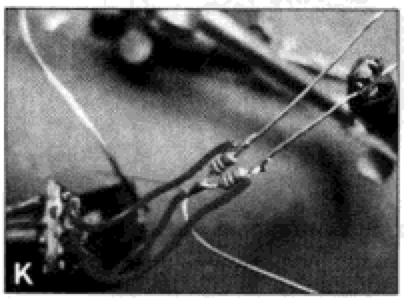
任何伺服电机都可以改成双向变速电机。通常来说控制电机的速度和方向是需要一个电机驱动芯片以及其他一些元件的，而伺服电机上这些元件已经都具备了。改装伺服电机是最常见且最廉价的，获取机器人里用的数字控制变速器的方法，这样就得到一个连续转动的伺服电机。这个改动，部分是机械的，部分是电气的。电气的改动部分是将电位器改成两个同阻值的固定电阻，机械的改动部分是将阻止电机全方位转动的限位装置去掉。

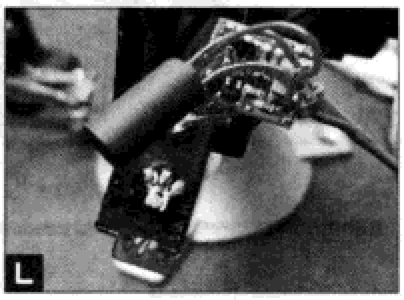


注意：如果不想拆开伺服电机的话，Parallax（就是出BASIC Stamp的那家）有可用的标准型连续转动伺服电机。







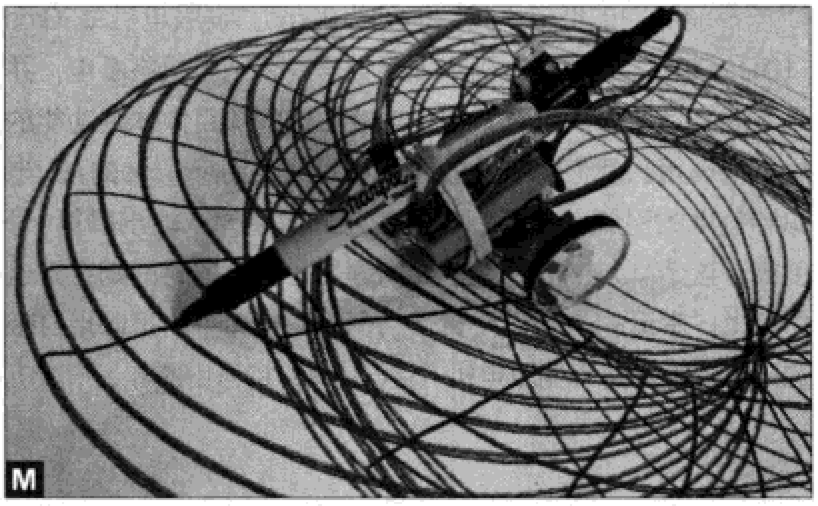


首先拆开伺服电机。HTX500伺服电机壳由三块塑料卡接而成，我们可以用小的一字螺丝刀或者类似的薄片将其撬开。从顶上将齿轮拉开，然后从底下小心地将伺服电机的控制电路板拉出来（见图I）。里面的机械限位有两个，用尖嘴钳弯折可以将转动轴旁边的金属限位去除，用斜向切割器可以将顶壳上的塑料限位去除（见图J）。用两个加起来5kΩ左右的固定电阻来替代5kΩ的电位器，两个2.2kΩ的电阻就行。将电位器上的三根线解焊下来，再将两个电阻如图K所示焊上去。用绝缘胶带或是热缩管将这个新组件包好（见图L），然后将这些电路都塞回到伺服电机壳子里，再把壳子装好。改装完成了，现在可以校准一下这个连续转动伺服电机，看看起点在哪里。如果两个电阻阻值精确相等的话，送到伺服电机是90°角的时候电机能停下来。你的电机可能会有一点偏差，可以试试用先前的程序做实验看看哪个角度能将电机停住。记住这个值，因为每个伺服电机都不一样。

5分钟完成的画图机器人项目

用两个连续转动伺服电机我们就能完成一个画图机器人。采用两个伺服电机、一个9V电池、一个小面包板、一块Adafruit Boarduino控制板（Arduino 板的克隆版）、一个Sharpie记号笔还有几个塑料转盘。这个电路和全景摄像头的一样，而且所有的部件也是用热熔胶粘在一起的。任何直径在2～7cm的转盘都可以做轮子，比如说塑料的螺丝顶盖。想加强引力还可以用胶带将轮子边缘包起来。伺服电机的设定和前面一样，代码里要用上刚才实验得到的电机起点位置的变量（你的电机起点位置可能不一样）。代码的逻辑让一个电机朝某个方向移动一段时间，然后换到另一个电机。现在大功告成，你可以去试试你的机器人了（见图M）。

注：本文所涉及的程序可在杂志网站（www.radio.com.cn）下载。



注意：Sharpie记号笔回头是擦不掉的，因此记得在硬纸片或者是打印纸上运行这个画图机器人，你可以用水溶记号笔来替代Shapie记号笔。

套件销售

从本期杂志开始，我们将陆续向读者介绍Arduino的相关制作套件及使用方法。本刊首批推出的套件有Arduino入门基础套件、3PA机器车套件、机械臂套件，非常适合个人DIY及学校实验教学使用，感兴趣的读者可以到本刊网站www.radio.com.cn的新版网页中了解上述套件的功能、配置详情及销售信息。读者在我刊网站上了解价格后，也可以直接通过以下方式购买套件：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

Arduino让电子与设计互动起来

◎高磊

本文是笔者对两位Arduino使用者访谈的集合，他们的职业背景不同，一位是电子工程师，一位是工业设计师。从对他们的访谈中，我们可以了解Arduino在电子与设计两个领域是如何发挥互动作用的。

其中Charith Fernando是位电子工程师，也是我在日本庆应义塾媒体设计研究院的同学，主持了研究院多个项目的软硬件设计和架构部分，现在正忙于毕业论文，在这里感谢他抽出宝贵的时间回答问题。

Denny（蔡敦仁）不仅是位极富经验的工业设计师，还策划过多次互动Workshop和论坛，现在正致力于设计思考的研究，最近我们会在每周末组织一次Workshop，讨论和设计原型，笔者从中获益良多，这里他将分享一些Arduino之外的经验给我们。

Charith Fernando 访谈

Q 不妨先来个自我介绍。

A 嗨，我是Charith Fernando，大学读电子及无线电通信学，现在就读Keio Media Design的硕士课程。感兴趣的方向有Embedded Electronics（嵌入式电子产品），Human Computer Interaction （HCI，人与计算机交互），Human

Robot Interaction （HRI，人与机器人交互），Sustainable user interfaces（可持续用户界面），Home automation and Wireless Meshnetworking（家庭自动化无线网状网络）。作为电子工程师，做项目时我尝试过很多平台，包括Microchip PIC、Atmel AVR、Xilinx Spartran、Texas Instrument Blackfin、Basic Stamp、Arduino、Gainer……

Q 聊聊为什么开始使用Arduino?

A 我大概在两年前才开始接触Arduino。有些时候我做的项目需要设计些硬件原型，用来做测试，这很需要时间，但其实多数时候项目原型并不需要制作得像上市的产品那样精致，因此使用简易的原型开发平台来开始原型制作就非常省时、省事。我过去做过些项目，它们需要在一个月或者更短的时间内完成，这样我就没时间去做完整的硬件设计和编程。这种状况下我就会用Arduino，用它编程很简单，它的帮助和说明文件制作得非常详尽，而且为最常见的传感器，传动装置都准备了数目庞大的pre-compiled（预编译）库，非常方便。

Q 用Arduino完成过什么作品\项目或者试验?

A 下面是两个我参与的项目，其中的系统构架完全由Arduino来完成。

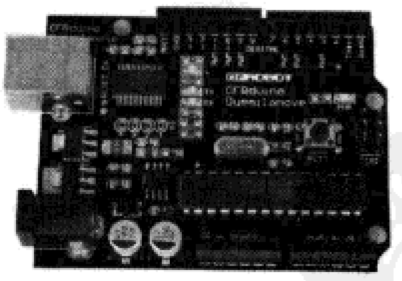
一个是 Yaminabe YAMMY：互动式烹饪锅，http://toydl.kmd.keio.ac.jp/index.php/en/projects/yaminabe-yammy。

另一个是 CHEERON++：互动健康玩具，http://toydl.kmd.keio.ac.jp/index.php/en/projects/cheeron。

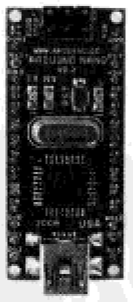
Q 你如何认识Arduino以及会建议什么样的人来使用它?

A Arduino的使用很简单，所以只要准备些常见的传感器和传动装置，对照着教程试试看，你会发现，它不仅上手简单，而且的确很有趣。我建议初学者用Arduino Duemilanove（http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove）这块最常见的板子。

中级用户可以试试Arduino Nano（http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano），对电路体积有严格要求的可以使用Arduino Promini（http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini）。事实上它们功能相差不多。



Arduino Duemilanove



Arduino Nano

除此之外，如果你要使用一些常见的传感器和传动装置，不妨先用搜索引擎搜索其他人共享出来的相关代码，这样可以让你节省很多时间。我做过的项目里使用的函数库都是下载别人分享的，方便简单，为什么不呢？而且现在Arduino的用户群越来越大，也让它的使用更加方便、简单。

Denny（蔡敦仁） 访谈

Q 不妨先来个自我介绍。

A 我叫蔡敦仁，中国台湾成功大学工业设计系硕士，日本千叶大学设计科学博士后期。我在大学期间是主修国际企业的，当时对品牌与营销很有兴趣，毕业之后也做了几年的营销工作。营销的工作虽然有趣，但慢慢地，我意识到设计在营销中的力量。我当时是在中国台湾一家大型网站负责网站的设计与建置，也就是在那个时候跟“互动设计”结缘。不过，当时所提的“互动设计”几乎都是围绕在虚拟环境上，也就是网络上的虚拟互动。后来我慢慢发现自己专业能力的不足，自己需要接受更专业的训练，为此还去考了研究所。后来就一直在“互动设计”领域钻研下去，现在才突然发现已经有10年之久了。

在研究所时期，很幸运，有一群在网络上“虚拟”互动的朋友们。我们会在网络上分享自己所看到最新的“互动设计”的作品。我还记得有几个作品引起过大家很大的兴趣，比如TU/Delft（荷兰台夫特科技大学）的研究生Philip Ross（现为TU/Eindhoven助理教授）的作品——使用水流与光线互动的电子乐器。当时大家最主要的讨论集中在“他们怎么做到的？”这个比较技术性的议题上。

传统的设计是以物为中心的思考，该怎样设计美感强烈的造型？该怎样设计会大卖的东西？都是围绕某个物件来思考。这些年来，设计逐渐改变成以人为中心的思考，但是设计学上对人的思考太少，这都是互动设计能够突破的部分。

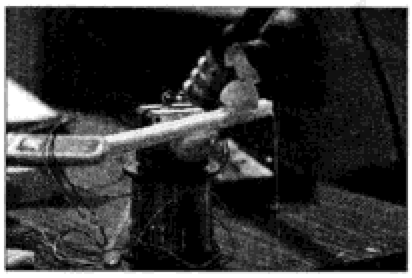
我的兴趣是煮东西，特别喜欢做有酱料的菜，像是色拉，或是意大利面等。煮菜是件很有趣的活动，虽然每个环节都不太起眼，但有时少了一个步骤，整盘菜的味道就变得奇怪了。可能因为如此，我常常用料理的比喻来说明设计是什么？色香味俱全，一搬上桌就能够截取到人的五官感受，就是最好的设计。

Q 聊聊为什么开始使用Arduino?

A 我曾在纽约大学ITP的Tom Igoe所倡导的实体运算（Physical Computing）的网页上看到当时比较红的Basic Stamp，但Basic Stamp的语法需要C语言上的知识，这对一个设计师来说是很难的。后来，我从朋友那里辗转得知Arduino，入手了一片来玩，之后从网络上下载了代码样本。当看到光敏电阻受到触发使LED发光时，真的很开心，因为我知道可以用Arduino来作些有趣的互动了。

Q 用Arduino完成过什么作品、项目或者试验?

A 我一直用Arduino做些雏形（Prototype）的开发，但成果其实都还只是试验品。不过我们过去在中国台湾办过几场用Arduino做Prototyping的工作坊。比如，2008年的搞互动设计工作坊，在4天内我们用arduino做了近10个雏形，2009年更把触角放在优化雏形的共自然互动设计工作坊，5天弄了近13个雏形，某些优秀的雏形也获邀参加中国台湾设计师周。对于工作坊项目来说，快速成型（rapid prototyping）一直都是重要的环节。我们知道，仅是画图或是多媒体影片都没办法代替人最真实的感受。透过与装置的互动，人的感受是直接，也最实际的。我们马上就可以知道这个“互动”能不能够让人明白。当人感觉到前所未有的感觉时发出的“哗”的一声，就是互动设计师需要的体验。



搞互动设计工作坊的作品

搞互动设计工作坊：http://ijw.designlab.tw/。

共自然互动设计工作坊：http://resonating.designlab.tw/。

Q 你如何认识Arduino以及会建议什么样的人来使用它?

A 我是从一个工业设计人的角度来看待Arduino的意义。对应传统的概念设计（Concept Design），过去的设计师用速写来表达自己的想法。也就是说，概念设计只能存在于概念之中，最后顶多做个模型，现实上毫无实现的可能。不过在21世纪的设计，概念设计已经很明显不足，传统的速写已经没有办法承受设计师想要实现的愿望。现代设计师除了要有概念绘图的技能，更要有数字速写（digital Sketch）的能力。Arduino的意义就在于赋予设计师能够掌握数字速写的能力，用最简单的互动雏形，表达自己的想法。

Arduino 能够快速地实现想法对于设计师是很重要的，我们不需要透过大量的访谈得到虚拟的印象，用最实际的互动雏形，就可以马上了解使用者的想法，进而修正自己的想法。

Arduino的快速上手的确降低了学习的门坎。

现在的问题不是我们能不能够做到，而是该怎么做，是一种从Why到How的过程。我会建议在设计初期就导入Arduino工具。先做几个可能的互动雏形来确认想法是否可行，尤其是牵涉到大量互动模式的设计作品时，然后从产品中实验用户有没有“哗”的产生。如果“哗”、“哗”、“哗”此起彼落地产生，就是设计的意义与目的了。

强力的新型检修工具——电容ESR表的设计制作

◎薛国雄

这个专题起源于笔者偶然得到的信息。在完成所译《音频功率放大器设计手册》一书的勘误工作后，笔者因需在网上查阅美国Tektronix公司的示波器资料，看到外国论坛有位网友在介绍维修经验时，大力推荐电容ESR表，称其为电子爱好者的强力工具，对检测电器帮助极大，故而引发了笔者的兴趣。经过一段时间的揣摩、研究、设计、制作及试用，结合本人以往的经验，确认此君所言非虚。这种电容ESR表确实是检修电子设备、排除电路故障的强力工具和十分有用的好帮手。独乐乐不如众乐乐，根据本人掌握的知识和实际设计制作，在此对电容ESR表作全面介绍，以期能给广大电子爱好者提供有益的帮助，推动这一新型工具的普及应用。

1 电容ESR表的特点

可能不少人都没听说过这种表。笔者以前也仅知道，专业仪器的LCR电桥可以测量电容的ESR。何为ESR？测量电容的ESR有什么用？相信很多读者心中会有这样的疑问。为此，先进行简单的背景知识介绍。

一、背景知识介绍

1. 电容的ESR

ESR是英语Equivalent Series Resistance的缩写，意为等效串联电阻。自身不会产生任何能量损耗的完美电容只存在于理论，实际的电容总是存在着一些缺陷。这个损耗，在外部的表现就像一个电阻跟电容串联在一起。另一方面，由于引线、卷绕等物理结构因素，电容内部还存在着电感成分。因此，实际电容的等效模型可以表示为图1所示的模式。其中电容C为理想电容，R为等效串联电阻，即ESR，L为等效串联电感，即ESL。引入ESR和ESL，使得模型更接近于电容在电路中的实际表现。

ESR的存在，令电容的行为表现背离其原来的定义。比如说，理论上“电容两端的电压不能突变”，但实际上，ESR上会产生一定的压降，与突然施加的电流大小有关，令

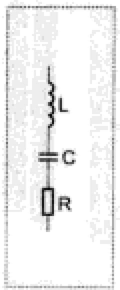


图1 实际电容的等效模型

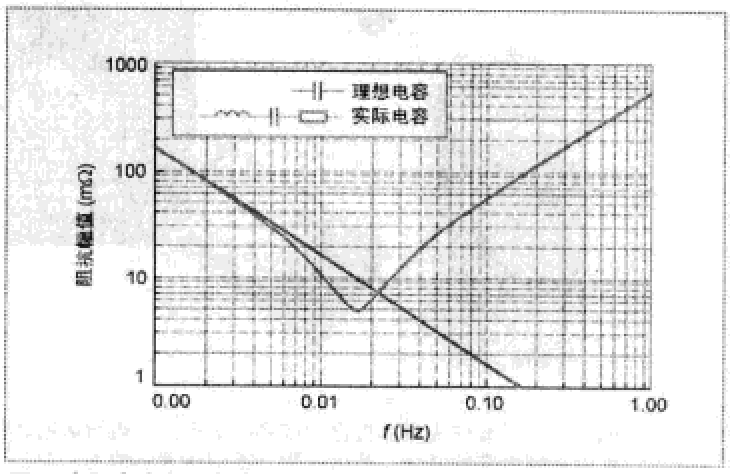


图2 实际电容与理想电容的差别。斜直线为理想电容的阻抗曲线，呈V字形的是实际电容的阻抗曲线。

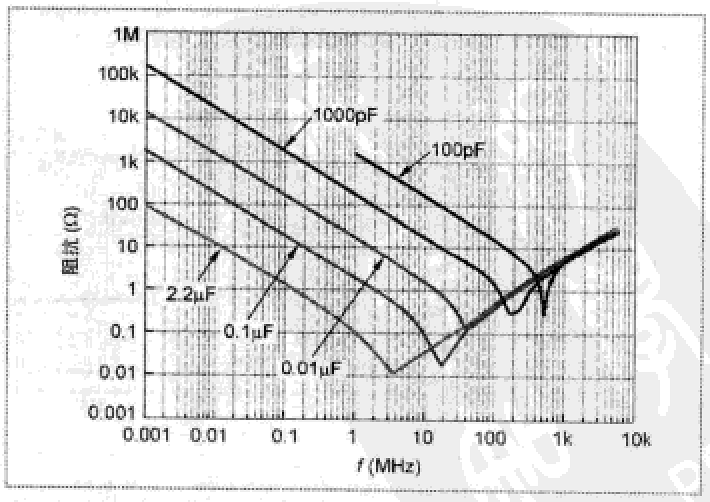


图3 不同容量电容的阻抗特性曲线

电容不再遵循理论规律。又如，电容会因ESR上的功耗而产生内部发热。笔者曾将两只早期生产的10μF/ 16V高ESR电解电容，正常地接到微型计算机开关电源的5V输出两端。由于此处高频脉动电压较大，电容内部损耗产生的热量加热内部气体，发出“吱吱”之声，竟在几秒内导致电容炸开，前后两次均是如此。

图2、图3显示了电容的实际阻抗特性。由于ESR以及ESL带来的影响，当频率上升到一定程度，即到了高频区，电容的阻抗不再遵从理论上的规律随频率的升高而降低。在图2中的低频段，电容的容抗在起主要作用，基本上还遵从理想电容的规律。在中间频率段，本应是ESL与C共同谐振而呈现阻抗深谷，但有ESR的存在，改变了曲线的走向，换言之，ESR在这里起主要作用。在高频区，则是ESL在起主要作用。

电容ESR的大小跟电容的制造有关。材质不同，ESR有区别。材质相同，则容量越大，ESR越小，约跟容量的开方成反比。同一品种的电容，耐压越高，ESR往往更低。就

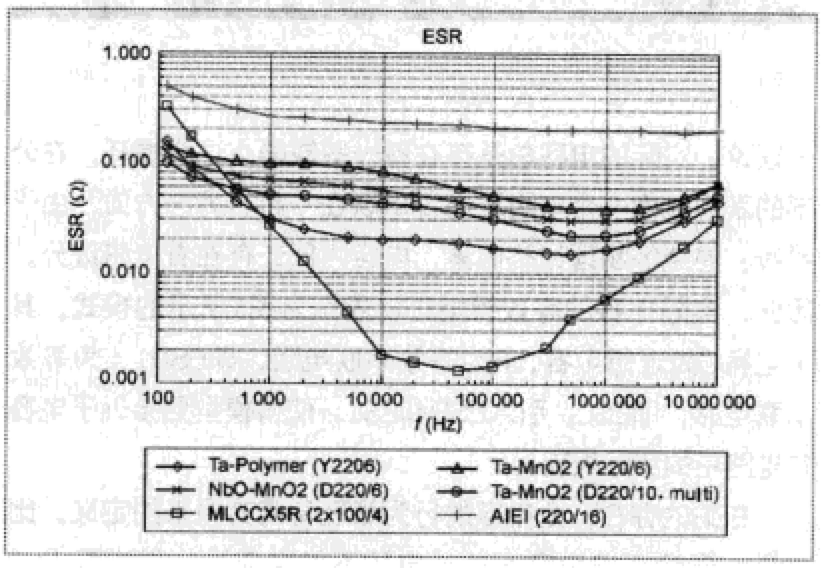


图4 不同材质电容随频率变化的ESR曲线。图中方框（顺序为光左右、后上下）列出了所测电容的品种和规格，200/6表示200μF/6V，以此类推。第1、2、4种为不同的钽电解电容，其中第1种为聚合物固态钽电解电容。第2种为较常见的二氧化锰固态钽电解电容，第4种为多层结构的二氧化锰固态钽电解电容。第3种为二氧化锰固态铌电解电容。第5种为MLCC即多层陶瓷电容，两只100μF/4V并联。第6种为低ESR铝电解电容。

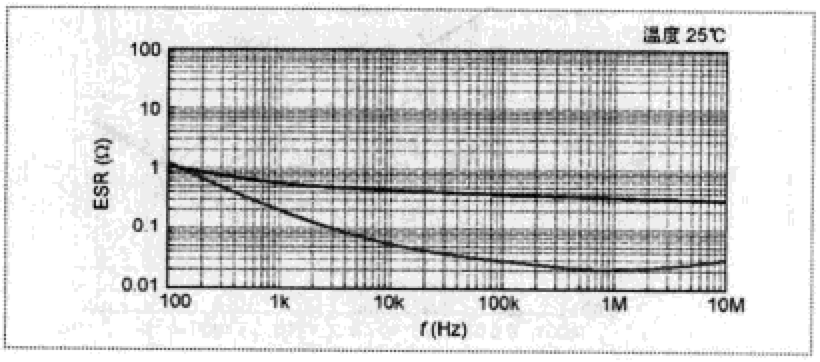


图5 普通电解电容与低ESR电解电容的ESR曲线。上方曲线显示，普通电解电容在较大的频率范围内，其ESR值变化并不大。

材质而言，电解电容的ESR明显高于薄膜电容。在电解电容中，铝电解电容的ESR又高于钽电解电容。在薄膜电容中，聚丙烯、聚苯乙烯等材料的电容ESR较小。一个对比例子是，1μF聚丙烯电容的ESR为10mΩ，而容量达1000μF的铝电解电容，其ESR为0.1Ω。

2. 电容ESR表

电容ESR表是专用于检测电容ESR值的仪表。这种仪表向被测电容注入测试信号，通过检测电路中的电量变化，作出相应的变换后，以数字显示屏或指针表头作为终端，将被测电容的ESR值显示出来。

因电容本身有隔直作用，所以在测量时，电容ESR表必须要使用交流形式的测试信号。这一点与常见万用表测量电阻有显著的区别。从另一个角度看，电容ESR表测量的是“交流”电阻，万用表测量的是直流电阻。

与万用表一样，电容ESR表可以做成数字式，也可以做成模拟式。对于模拟式电容ESR表来说，使用指针表头作指示，因此，其电路最终需以直流电流形式来进行驱动。对于数字式电容ESR表来说，由于现在市场上有大量廉价的数字万用表专用A/D芯片（如ICL7106）供应，利用这些专用芯片来进行设计制作是较为直观可行的方法。A/D芯片输入的是直流电压，所以，数字式ESR表测量部分的电路有别于模拟式ESR表。此外，数字式电容ESR表还可以用微处理器（MCU）作为核心来实现，凭借其强大功能取代数字万用表专用A/D芯片，设计上更加灵活，电路形式上也迥异于前

图6 国外以套件或成品推出的电容ESR表。仪表面板所印的表格是用于帮助判断电解电容的好坏。最后一种（图中该表斜放置）有别于一般的指针表和数字表形式，是利用LED来指示ESR值所在区间，电路则使用MCU，可谓是数字式与模拟式的混合体。

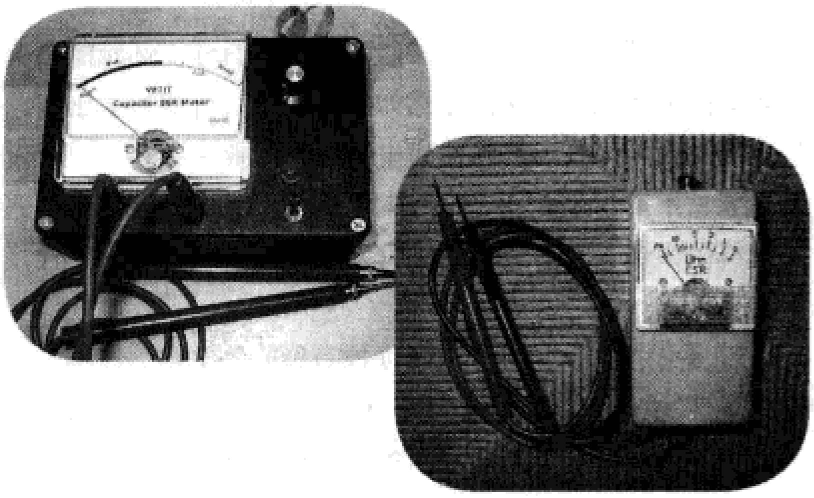


图7 国外网友自制的指针式电容ESR表。其中，右边的表以ESR值标示刻度，左边的表以电容好坏（good与bad）来标示刻度。

述两种。本文中笔者设计制作的电容ESR表属于模拟式（指针式）。

3. 国外自制情况

通过网上信息了解到，电容ESR表明显并不是仪器仪表大厂的正式产品——估计与LCR电桥已集成了它的功能有密切关系。目前，国内还没有电容ESR表的生产销售。在国外，电容ESR表主要流行于业余电子爱好者中，虽然已有微型公司或个人提供一些套件和成品的销售，但未成大气候，仍是以爱好者自制为主要形式。笔者曾用“ESR Meter Schematic”（即“ESR表 电路图”）作为关键词在网上搜索，可以找到很多介绍个人自制电容ESR表的网页，有美国、德国、意大利、俄罗斯等国家网友的作品或资料，看都看不过来。

二、电容ESR表的独到之处

电容ESR表的作用，用一句话概括，就是用于测量电容ESR值，凭此判断电容（主要是电解电容）的好与坏、正常与否。其功能虽然单一，但实用性很强，对检修电子设备带来莫大的帮助。众所周知，电解电容是电子设备中故障率最高、寿命和可靠性最差的元件之一，而电解电容的寿命在很多时候决定了设备的使用寿命。长久以来，广大电子爱好者普遍缺乏一种有效判别电解电容好坏的检测工具。电容ESR表的出现，正好可以填补这一空白。

由于设计上的特殊性，电容 ESR 表具备了如下独到之处：

1. 鉴别电解电容好坏，判断准确率高

从前面的介绍可以知道，ESR是直指电容性能缺陷的参数。无论是电解电容漏液、干涸这类常见问题，还是电解液失去活性这种隐蔽问题，都可以通过电容ESR表检测出来。套用外国一位制作者的话说：可以找出95%以上有问题的电解电容。他没说100%，背后一个重要原因是，电容ESR表（非特殊设计的）不能检出电容两接点之间存在的短路性故障。幸好，电容出现这种短路性故障的概率，远低于电容自身失效的概率。纵使电容出现短路性故障、又或者与其并联的器件出现短路性故障，电路的外在表现将十分明显，容易被普通万用表检查出来。比如，电容两端的电压、直流电阻远低于正常值。

2. 可在路测量，无需将元件拆下，大幅提升检测效率

笔者所称的“在路测量”，是指不将元件从电路板上拆下、又不通电时对元件进行的检测。不少人都知道，常见的二极管、三极管、电阻等分立元件可以用万用表进行在路

图8 LCR电桥照片（非按同一比例拍摄）。后两种为台式，实物比前两种的手持式大得多。

检测，找出故障元件的成功率还颇高。而电容却不行，因为需要交流信号驱动，万用表对此无能为力。由于电子设备普遍都要使用电解电容，有些设备的使用量甚至超过一百只。在路测量所带来的方便性，使得检修者能够从容应对，大大减轻了工作量，个中意义殊为重要。

3. 体积小、重量轻、耗电省，携带方便，使用简单灵活

电容 ESR 表用电池供电，可做成便携式，打开电源开关即可使用，无需繁琐的设置。LCR 电桥虽已具备了电容 ESR 表的功能，但是售价高，测试频率最高仅 1kHz 的低档国产 LCR 电桥售价也要超过千元，让囊中羞涩的爱好者望而却步。LCR 电桥大多属于台式仪器，体积大、重量重，而且需外接市电才能工作，使用时拖着一条尾巴，让人觉得处处不便。而手持式LCR 电桥的测试电平一般是固定的，典型值为 $0.3V_{rms}$（即 $848mV_{pp}$）。这样的电平，已达到很多半导体器件的导通阀值，导致在路测量的部分结果变得不可靠。

4. 电路和构造比较简单，成本低，容易普及，便于爱好者自制

这种表制作难度不高，有动手能力的爱好者，都可以独自完成。笔者的电容ESR表，是利用原来闲置的MF500指针万用表进行制作，扣除设计修改和调试时间后，实际制作时间不足一天。材料方面，除原有的MF500表外，都是利用手头常备的元器件，最值钱的是一只1μF/400V MKP电容，其余的不值一提。装在电路板上的新购元件，仅运放IC两块，花费共人民币5元。

三、电容ESR表的威力

过去我们检修电器，检查电解电容多依靠简陋而带有严重缺陷的方法。

一是进行外观检查，看看电容周围有没有漏液或外壳鼓包开裂。但是，除电解液干涸的电容外，有些漏液的电容还由于被本身及周围元件所遮挡，不拆下来作检查，往往成为漏网之鱼。在笔者制作电容ESR表之前，曾检修一台不能正常工作的美国Metcal公司早期生产的PS2V焊台，通过外观检查没有发现任何电解电容有异常，一时之间也找不出故障点。因缺少图纸，后费了很大精力跟踪电路故障，最后追踪到焊咀检测电路，怀疑为其供电的辅助电源出问题。最后才下决心拆下这组电源中外观完好的1000μF/50V电解电容来检查，发现其底部已有漏液痕迹，测量确认已失去大部分容量，更换后即恢复正常。

二是将电容拆下来，用指针表或电容表检测其容量。但是，“拆时容易装回难”，装回去还需预先清理焊盘过孔，这种方法甚费功夫。因此，检修者多是在有理由怀疑的情况下才选择采用这种方法。纵然如此，仍是有可能漏掉出问题的电容，因为某些电路位置对电容的品质要求甚高，电容没有失容，不等于没有问题。经常维修的笔者好友就曾多次遇到这样的事情，富有经验的维修者会根据电路情况采用代换法。

三是代换法，用好的电容换掉有疑问的电容。这种方法基本可解决前一种的遗漏问题，但这也是无可奈何的做法。不仅拆装麻烦，而且需要提前备有同样规格的电容，很多时候检修者并无这样的准备。万一预判有误，同样像前一种方法那样白花了时间和精力。

有了电容ESR表，不用拆下电容，只要断开电器的供电，就可以直接用它进行测量。检测电解电容，变成了一件轻松的事情。笔者自从制作成功后，因为没有了拆装电解电容这一麻烦事的困扰，凡是稍有怀疑的，就立即将电路板上的所有电解电容（还包括部分非电解电容）检测一遍。虽然命中率很低，但所费时间也很少，不会构成负担，能给检修成功提供保障。就上面所述Metcal的PS2V焊台维修一事来说，若有电容ESR表相助，完全可以在前期的检查中找到故障元件，不用再花大半天时间才解决问题。

作为电容ESR表的主要检测对象，电解电容出现在几乎所有电子设备中。尤其是电解电容在电源电路中扮演着重要的角色，电源一旦出现问题，将给整个电路带来全局性的影响，有时还会引发各种各样的奇怪症状，让人难以捉摸。为此，熟悉维修的人员都会慢慢养成先从电源开始追踪检查电路故障的习惯。换一个角度看，这样的检修顺序确实符合电路运作的规律。如果使用电容ESR表，那么，在动用万用表之前，它就可以发挥前锋的作用。

随着时代的发展，采用开关电源供电的电子设备越来越多。与传统的工频电源相比，开关电源对电容的ESR特性要求也更高。因此可以推断，电容ESR表的用武之地将越来越广阔。

目前，二手电器市场交易日趋活跃。很多家庭，也包括电子爱好者，都已经拥有一些较旧的电器。部分人出于省钱、爱好、收藏或其他原因，还特意选购二手电器。这些电器已使用多年，故障发生率高，有时修好了旧故障，不久又出现新故障，需重新维修。主要原因是电器内部的元器件老化，电子设备中又以电解电容为甚。为恢复生机，个别爱好者“宁可错杀三千，不可放过一个”，干脆将所有电解电容更换。这不失为一种比较稳妥的办法，但对于内部电路复杂的设备来说，从元件准备到拆焊，都十分消耗精力，论效益并不是很合算。如果有电容ESR表帮助检测，就可以有的放矢地进行电解电容的更换了。

2 测量原理及国外典型电路分析

严格地说，电容ESR表应测量真正的ESR。由于这种测量需要避开电容容抗、内部的ESL等因素影响，难度比较高，电路将变得十分复杂。所以，电容ESR表一般都是测量电容的交流阻抗，以此作为电容的ESR值来读取。

一、指针式万用表测量直流电阻的原理

在了解电容ESR表工作原理之前，先看看我们平时经常接触到的指针万用表是如何测量直流电阻的。

普通万用表的欧姆挡基本原理如图9所示。图中，Rs为整个表的内阻，Rx为被测电阻。M为表头，但这个表头不是实物上的表头，而是实物表头经过电流量程的扩展而得到的。V为直流电压源，实际为内部的电池。

V、Rs、Rx构成一个回路，根据欧姆定律得到公式：$I=V/(Rs+Rx)$。I为测量回路中流过的电流，也流过表头。显然，通过这个公式，I与Rx构成了一一对应的关系。指针表的表头实际为电流表，表针直接指示的是电流I，所以，所有指针式万用表都是遵从这一公式的规律绘制欧姆刻度的。

从公式推导得到：当$Rx=\infty$时，$I=0$；当$Rx=0$时，I为最大值，$I_{max}=V/Rs$。这与我们所知道的欧姆刻度是一致的：表针满幅的位置（即满幅电流I_{max}位置）标为0Ω，表针起始的位置（即电流为0位置）标为无穷大，欧姆刻度的大小方向与电流挡（以及电压挡）刻度刚好相反。当$Rx=Rs$时，I为I_{max}的一半，因指针是指示电流，故指针指向刻度中央。所以，指针万用表的欧姆刻度中心值就是整个表（即测量电路）的内阻值！这对于所有欧姆挡位都成立。

欧姆挡位不同时，表头M有不同的电流量程。这是利用高灵敏度的实物表头，通过串、并电阻而扩展得到的。这一个电流量程的扩展是线性的，因此，可视为一项线性的传递。也因为扩展是线性的，所以能保证在不同欧姆挡位下，使用同一张刻度纸仍有十分接近的测量精度。实际的万用表中，为迁就电池电压V的变化，各个欧姆挡位表头M的满幅电流值I_{max}是可以微调的，这由欧姆调零电位器来实现。但欧姆调零电位器的改变，设计时已注意不能令整个表的内阻产生变化，否则，读数就不准。这是因为，欧姆刻度是按固定的内阻来绘制的。

二、电容ESR表的测量原理

根据指针万用表测量直流电阻的方法，容易得到如图10所示的指针表头用于测量电容ESR的概念电路。由于被测对象Rx是交流阻抗，因此，V为交流电压源，表头M为交流电流表， Rs为测量电路的交流内阻。测量回路中流过的电流随着Rx的变化而变化，由这一电流驱动交流表头，以此指示被测交流阻抗值。

但是，常见的表头都是直流表头，即使能找到交流表头，也因灵敏度过低而不能使用。因此，图 10 所示的测量电路需改为图 11 的形式。在测量电路中，通过电阻 R 来检测测量回路中的电流，以电压形式输出——此时由电阻R完成了I/V变换。经过 AC/DC 变换为直流电压，加到直流表头 M——同时由表头 M 的内阻完成 V/I 变换。这样，测量回路中流过的电流 I 被传递到了直流表头 M，因此，直流表头 M 可指示出 Rx 的测量值。

图11中的AC/DC变换要靠二极管整流来实现。而我们设计的ESR表，因为要具备在路测量功能，不允许将测量电平设得过高而令二极管等半导体器件能够导通。这样，AC/DC变换与在路测量这两者之间，就存在着矛盾。为解决这一矛盾，实际的电容ESR表需加入电压放大电路，如图12所示。

在测量回路中，流过的电流I仍遵从公式$I=V/(Rs+Rx)$，其中，Rs为测量电路的内阻。对于这一概念电路，Rs等于检测电阻R。实际电路中，Rs等于检测电阻R加上测量信号源V的内阻。若电流I被传递到表头M的整个过程是线性的，那么就可以按$I=V/(Rs+Rx)$的规律来绘制表头刻度。反过来，假如表头有现成的欧姆刻度，只要让Rs与刻度中心值相等，并且在测量回路出现最大电流I_{max}（$=V/Rs$）时，让表头M达到满幅电流，那么这现成的欧姆刻度就可以利用起来。

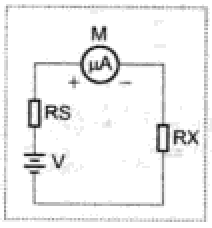


图9 指针式万用表测量电阻的原理

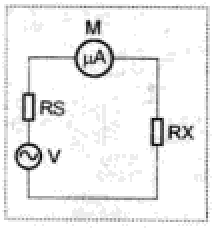


图10 指针式电容ESR表的测量原理1

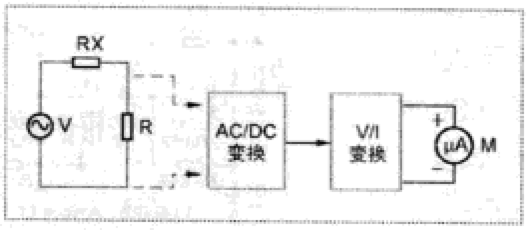


图11 指针式电容ESR表的测量原理2

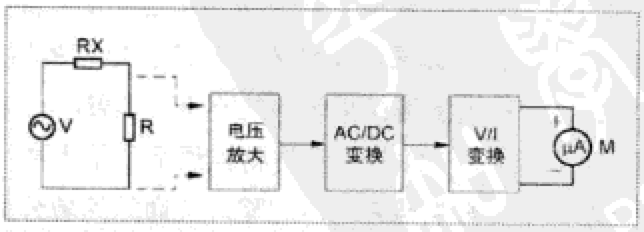


图12 指针式电容ESR表的测量原理3

这说明，我们可以直接使用指针万用表来改装电容ESR表，不需重新绘制欧姆刻度，但须注意满足两个条件：

一是要让测量电路的内阻与欧姆刻度的中心阻值一致。比如，MF500万用表的刻度中心值为10Ω，测量信号源的内阻加上检测电阻R的总和也须为 10Ω。

二是要将测得的电量（电流）线性地传递给表头，并且还要使得测量回路有最大电流时，表头指针刚好指向满幅位置——也就是线性传递的增益要合适。否则，就不能建立刻度指示值与所测值的一一对应关系。

更进一步，如果要变通使用原欧姆挡刻度，那么只要符合上述两个条件，就可以像指针式万用表那样，进行倍率的变换。换言之，可以按自己的设计意愿来利用原欧姆挡刻度。比如，TR-360指针万用表的刻度中心值为20Ω，出于提高低阻显示分辨率的要求，想将此中心值改为5Ω。那么，就要将测量信号源的内阻设为5Ω，读取数据时乘以1/4（即倍率乘以0.25）即可。

有些指针式电容ESR表电路的电流传递过程并不是线性的。比如，没有利用运放加入反馈来改善线性，而是直接使用二极管作非线性整流，如图13和图14所示的电路。由于二极管的电流与压降的关系呈指数特性，因此，即使测量回路一样，其刻度也不同于指针式万用表，其低阻值区的分辨率会更高。这是一个优点。但对于DIY者来说，没有现成的刻度可利用，需专门绘制，这又是一个缺点。

绘制刻度，实际上是建立被测阻值与显示值的一一对应关系。对于功能强大的MCU来说，十分擅长于此项工作。因此，可以降低对电路线性的要求，测量回路也可以有更灵活的实现方式，使用MCU的数字式ESR表也就具备了简化电路的先天条件。如果不使用MCU，而是使用ICL7106这类A/D芯片来制作数字式ESR表，则由于对输入有线性要求，表头显示的又是电压。因此，测量信号源需做成具有固定输出的交流恒流源I，以便建立$V=IRx$的线性关系，后面的电压放大和AC/DC变换电路，也要求有良好的线性。

三、电容ESR表的测量误差

电容ESR表本来要测的是ESR，但实际测量的是电容的交流阻抗。这样的设计，测量结果必然存在误差。

对于实际的电容，主要有电容容抗和 ESL 这两项因素影响 ESR 表的测量结果。对于电解电容来说，容抗带来的影响占主导地位。如果测量频率足够高、电容的容量又不过小，那么，容抗给测量结果带来的不良影响就小。电容的 ESL 本身较小，为 nH 级别，只要测量频率不是太高、ESR 本身不是太小，其影响通常可以忽略。下面的简单分析，证明了这一点。

从图1所示的电容等效模型可得到，电容的交流阻抗幅值为 $R_X=\sqrt{R^2+(X_C-X_L)^2}$

式中，R为电容的ESR，X_c为电容的理想容抗，$X_c=1/(2\pi fC)$，X_L为ESL的感抗，$X_L=2\pi fL$。

以22μF普通铝电解电容为例，一个典型的ESR值为20Ω，ESL值为20nH。当测量频率f为100kHz时，则有X_c=0.072 Ω，X_L=0.014Ω。代入上面公式有

$$R_X=\sqrt{20^2+(0.072-0.014)^2}$$

计得Rx≈20.00008。这说明，这只22μF电容在100kHz时的交流阻抗与ESR相差极其微小，这样误差完全可以忽略不计。

如果电容容量降为1μF，其余不变，类似地可计得Rx=19.94。测量误差已较为可观，为0.3%。如果测量频率降低，这个误差就增大，比如，50kHz时误差为1.2%，20kHz时为7.5%。因此，一般的电容ESR表都标示适用范围为大于1μF，测量频率都设定得较高。

由上述分析可见，电容ESR表虽是通过测量交流阻抗来给出ESR值，精度受到一定的限制，但就要求不高的检测电容好坏这一主要用途而言，这种做法无可非议。

四、指针式电容ESR表的国外典型电路分析

下面三款指针式电容 ESR 表电路，是笔者从互联网挑选出来，原先已经过实际制作的国外电路。它们各有特色，具备一定的代表性，其中第3款曾刊登在某外国电子制作杂志上。

1. 简洁明快的电容ESR表

如图13所示，核心元件为TL062低功耗双运放IC1和变压器T1，以高灵敏度的50μA指针表头作指示。稳压集成块IC2为电路提供稳定的5V电压。运放IC1A构成单电源方式的50kHz方波振荡器，经过20:1的变压器耦合，作为测量信号源，输出电平约200mV。由于引入变压器，减轻了振荡器IC1A的负载效应，避免造成测量信号幅值和频率的变动。测量信号由R6检出，经过C3隔直电容后，送往反相放大器IC1B作39 倍放大。放大后的电压由二极管VD1、VD2整流，经过微调电阻R11驱动表头M1。R11用作欧姆调零。

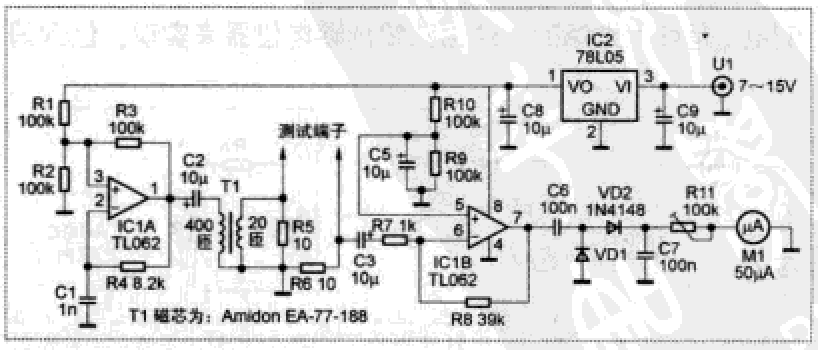


图13 国外网友自制的指针式ESR表电路一

2. 使用一块通用逻辑IC的电容ESR表

如图14所示。电路使用内含6个史密特非门的CMOS逻辑集成块74HC14，其中一个非门（IC1D）构成100kHz方波振荡器。为提高驱动能力，将其余5个非门并联使用，每个非门输出端都接有RC低通滤波器，以滤除测量信号的高次谐波成分。测量接口设有DC电压保护，避免因被测电容带电而造成ESR表意外损坏。其中C5起隔断直流的作用，二极管VD5、VD6起双向的电压箝位作用，防止过大的DC电压进入表内。测量信号由R8检出，三极管VT1作10.5倍放大。二极管VD1至VD4接成桥式整流，将交流信号变换为直流，即AC/DC变换，以便驱动指针表头。此电路的供电电压为5V。74HC14这类CMOS通用逻辑IC的静态电流都很小，为μA级。但此表工作时，R7作为前端电路的负载，有持续的交流电流流过，再加上三极管部分的耗电，估算整机的静态电流为12~15mA。

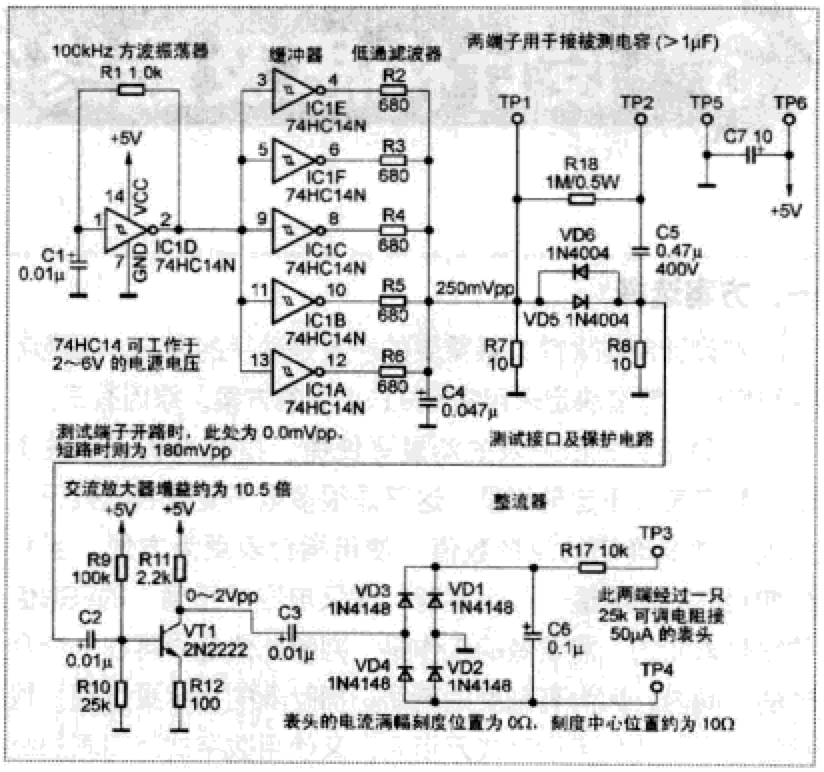


图14 国外网友自制的指针式ESR表电路二

3. 带短路检测功能的电容ESR表

如图15所示，由TL084四运放IC构成了ESR表电路的主体。IC1A用于驱动虚地，将单电源9V转换为双电源±4.5V，这样，可令其余电路得以简化。IC1B构成100kHz方波振荡器，三极管VT1将测量信号以电流的形式送往电阻R8至R11组成的电桥。此处使用电阻式电桥作为测量电路，可以检测出被测电容两端是否存在短路现象。如果有此现象，则R10被短路，电桥失去平衡。由于电桥有直流电流流过，运放IC1C的正输入端直流电位将高于负输入端，因此输出端的直流电位大幅升高，经电阻R16驱动三极管VT2导通，短路指示灯LED1因此被点亮。R16与C4构成RC滤波电路，用于滤除正常测量时的交流信号，避免出现错误的短路指示。

电桥中，R8=R9，R10=R11，R8>>R10，测量回路检出的交流电压信号V与被测阻抗Rx有如下关系：

$$V=\frac{\alpha I}{R10+R_x}$$

其中I为信号源输出的交流信号电流，且

$$\alpha=\frac{R8\cdot R10\cdot R10}{R8+R10}$$

，近似有 $\alpha=R8\cdot R10$。

由关系式可见，电路检出信号的规律等同于万用表欧姆挡。

IC1C构成理论增益为27倍（47倍）的差动式比较/放大器，其输出信号送至IC1D与VD3构成的理想二极管电路，以获得较佳的AC/DC变换效果。输出的DC电压送到表头，用作欧姆调零的微调电阻R19与表头构成电压表。此处加入硅二极管VD4，利用其压降与电流的非线性关系，展宽了表头刻度的低阻区，测量低阻的分辨率从而得以提高。也因此，其表头刻度不同于普通指针万用表。IC1D的输入经C5隔直，去除了直流成分，防止被测电容残存的直流电压干扰测量结果，并起到保护表头的作用。

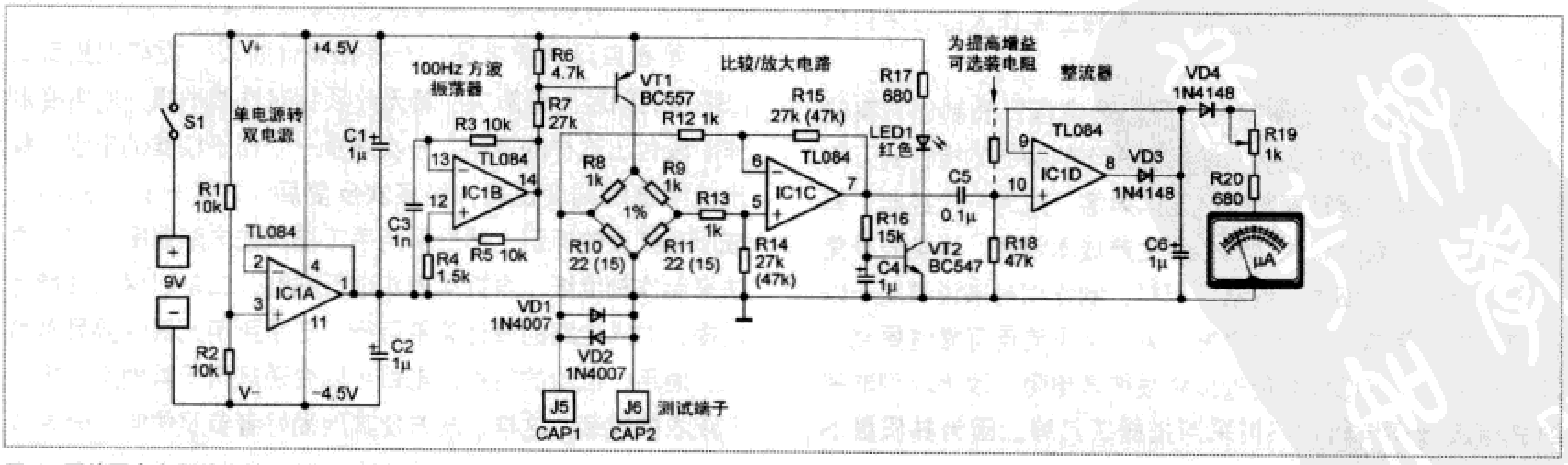


图15 国外网友自制的指针式ESR表电路三

3 设计构思及最终完成的电路

一、方案选择

在设计制作之前，最重要的决定是动手的方向。几经考虑和权衡，笔者决定采用指针式ESR表的方案。原因有三：

一是指针式ESR表的测量更便捷。指针表长于定性测量，数字表长于定量测量，这已是很多电子爱好者的共识。如果不需要确切的测量数值，使用指针表更为方便。当我们使用ESR表测量一只电容时，这只电容“正确”的ESR值往往是未知的，需要做的工作是，判断此值是否落在一个合理的区间内。因为有刻度的辅助，指针表的指示更直观。根据笔者多年既使用指针式万用表，又使用数字式万用表的经验，对于这样的模糊判断，指针表明显更快、更省事（前提是你需习惯指针表的使用）。只要看一眼指针摆动的大致情况，即可作出判别，不用像使用数字表那样，需在脑海中进行数字的读入与比较。

二是指针式ESR表的量程更宽。一个挡位就可以覆盖从0~∞的范围。只要适当安排好高分辨率指示区域，就可以满足我们检测电解电容（以及部分非电解电容）的需要。若做成数字表形式，一个挡位就只能覆盖某一个范围。比如，采用万用表专用A/D芯片ICL7106。因其显示数值最大为1999，若安排最小显示0.01Ω，其最大显示将变为19.99Ω，在某些场合下使用会受到限制，这样就不能用于辅助检测那些容量不大的非电解电容。

三是指针式ESR表的制作难度更低。对于数字式ESR表来说，适用的显示屏难以购买得到，可行的方法是利用现成的数字万用表来改制。但数字万用表体积小，内部空间狭窄，元件不易安排，还需对准显示屏原来安装的位置，给PCB的制作带来较大的困难。对于指针式ESR表来说，则没有这样的限制。因此，在国外电子爱好者的DIY中，数字式ESR表多是以套件形式供应的，个人独立制作大部分采用指针式方案。

此外，另一个促使笔者下决心选定指针表制作方案的重要因素是，刚好手头有一块闲置多年的MF500指针式万用表。这一型号的指针表曾经在国内风靡，成为一代经典。笔者这块MF500表是现代版本，受生产成本限制，这类表难免有大家所称的“缩水”现象，用料、制作相对来说要差于以前的老表。例如，采用了PCB开关，不再使用可靠性更高的波段开关；AC/DC校准用的原绕线微调电阻，改为小型非密封式碳膜微调电阻，不再采用搭栅工艺等。因为其质量不理想，加上笔者不习惯其双开关的切换方式，所以闲置了下来。但笔者发现，对于电容ESR表的制作来说，即使这种被人诟病的现代版本，原型指针表大部分的优秀特性仍得以保留：一是表盘刻度宽，分辨率高。二是刻度中心阻值较小（10Ω），有利于显示小于1Ω的测量值。三是外壳耐磨耐看，历久弥新。四是设有电池仓，拆换电池方便。五是整机密封性好，隔绝了外界的粉尘和潮气，增强可靠性。当然，原有的方面也保留了一些，包括笨重和体积偏大。但在家中使用，这些问题并不突出。原来的双开关切换而造成使用不便的问题，却是不再存在。

后来的制作证实，对笔者这样的电子爱好者来说，采用现成的指针表来改装，是一项明智之举。一方面，可以大大简化制作。对于通常的制作，机壳、结构件等问题常常令人头疼，在备料环节以及制作时间中所占的比例经常逾50%。现在，机壳问题顺利得以解决，无需专门去绘制刻度，也不需为如何购买和怎样安排表头、表笔插座以及调零旋钮等而烦恼，因为这一切都是现成的。只要完成了电路板的装制调试，就已完成了整机工作量的90%。另一方面，整机外观的完成度很高。对于一件几经辛苦才制作出来的东西，如果没有良好的外观，制作者总是难免会有心头之憾。采用改装方法后，制作出来的电容ESR表外观上与原表相差无几，几乎没有改动，很是像模像样。虽然缺乏个性和创意，但完成度却得到了充分的保证。

二、设计准备

在设计之前，笔者认真阅读了国外电子爱好者详细介绍设计制作的网页和文章，基本掌握ESR表设计的有关要求和电路特点。随着了解的深入，笔者发现很多国外DIY作品或多或少存在一些明显的缺点，并不合乎笔者的心愿。于是，借鉴他们一些好的方面，再按自己的要求来重新设计制作。

笔者自订的要求是：一是在设计阶段，提前把指针式ESR表的刻度问题解决。若无此项针对性的举措，就需在制作阶段付出这样的劳动：一次测量一个用于校准的电阻，标出此阻值的刻度位置，经多次反复后，才能一点一点地完成所有刻度的标识，然后采用手工描画或电脑制图打印的方法来制作刻度纸，再拆解表头进行粘贴。二是以保证性能为前提，力求电路的设计简单可行。三是所用元器件要具有常见、通用、低价的特点，电路可以变通运用于其他型号指针万用表的改装。这样，既方便其他爱好者参照仿制、分享成果，又可以在电容ESR表出现故障后，免除找寻特殊元器件

之苦。四是有关性能参数尽量不作妥协。既要充分满足使用要求，又力求优于一般的国外同类DIY作品。

三、参数目标

有关性能参数方面，笔者的考虑如下：

1. 工作频率为100kHz正弦波

一是减少电容容抗所带来的影响。电容ESR表实为简易式的设计，它实际测量的对象是电容的交流阻抗，也就是说，除ESR外，还包含电容容抗以及电感的成分。100kHz的频率较高，对于小容量电解电容（以及一些容量相对较大的非电解电容）的检测更有利。

二是向中高档LCR电桥靠拢。低档LCR电桥的最高测试频率多为1kHz，好一些的为10kHz，只有中高档的LCR电桥才具备100kHz的测量频率，但售价已翻倍。

三是100kHz已成为电容有关性能测试的一个工业标准。以这个频点进行测量，方便进行电容数据的对比参照。国外爱好者制作的电容ESR表大部分采用方波进行测试，就没有了这个好处。这是因为方波的谐波成分十分丰富，即使其频率同为100kHz，实际的测试频点是按谐波结构散开的。

2. 测试电平定为120mV$_{pp}$左右

为了保证能用于在路测量，必须让测试信号电平低于电路中的半导体器件导通阀值。三极管和二极管的PN结导通电压一般为0.6～0.7V，但开始导通的电压却是0.3V左右，如果电路中有锗管存在，则这个开始导通的电压会低至约0.1V。120mV$_{pp}$的测试电平，在正向或负向上所加的电压最大仅为60mV，可以确保“在路测量”目标的实现。如果定为更低的电平，则外界噪声干扰给测量结果带来的影响增大，交流放大电路的增益值也需提高，设计的困难也随之加大。

3. 耗电要低，并设自动关机功能

使用9V层叠电池供电的静态电流要小于10mA，并尽可能地减少。10mA这个数值，是市售手持电感电容表的其中一个典型静态电流值，所以笔者把它作为一个参照。9V层叠电池自放电小，对于很多手持仪表来说，如果平时使用率不高、电池质量又过关的话，多年后仍可继续使用。因此，尽量控制好ESR表电路的静态功耗，是有实用意义的。另外，新一代手持仪表已普遍设有自动关机功能。一些老式手持数字仪表，因缺少这个功能，使用者如果事后忘记关机，若干天后发现时，电池已用尽，假如家中又没有备用电池，还需外出一趟购买。这样的事情，相信不少人都曾遇到。不知何故（或许是追求简单吧），我看到国外爱好者自制的ESR表都缺此功能。但既然是重新设计电路，就不应把这一缺陷带进来，所以自动关机功能必不可少。为此，笔者在设计阶段摒弃了在电路中设置检测电容两端短路的功能，原因是它会造成整机静态功耗过大。

4. 具备400V的DC输入电压保护功能，以防止带电的电容造成ESR表的损坏

有些电路场合下电容的工作电压很高，比如，开关电源的220V市电侧以及胆机电路，如果使用者一时忘记在测量前先让电容放电，可能就会出现问题。ESR表设置这一功能，可防止这种意外的发生。

5. 尽可能有较好的精度

对于指针式万用表来说，给出的欧姆挡百分比精度是以指针偏转的弧长来计算的。有些爱好者认为一块欧姆挡精度为2.5%的指针万用表，测量100Ω的正、负误差不应超过2.5Ω，否则就认为不达标，这实在是一个误解。笔者初订ESR表的精度目标是不劣于10%，为此，在调试制作过程中笔者注意尽量控制线性，但因缺少检验的仪表和器件，只能得到一个大概的估计值，此是后话。

四、整体设计及最终完成的电路

在设计之初，笔者从元件获得、PCB排布、使用器件数量等方面综合考虑，决定优先选用双运放IC。最终电路的主体部分由两块双运放集成电路TL062和NE5532负责，完成了除自动关机之外的所有任务。

笔者设计的指针式电容ESR表原理框图如图16所示，制作成功后的整机电路图如图17所示。

1. 100kHz正弦波振荡器

在图17中，运放IC1A与周围元件构成文氏（Wien，也有人译作“维恩”）电桥式正弦波振荡器。这种文氏电桥振荡电路，具备产生低失真正弦波的潜能，如果在幅度反馈控制上进行细致设计，可获得0.000X%量级的超低失真性能。在这里，由于对正弦波的纯净度要求并不高，因此，使用了最简单的电路形式，失真也就较大，为X%的量级。即使这样，也明显优于方波振荡器。

R1、C1和R2、C2构成所称的文氏电桥。R1、C1是相位滞后网络，R2、C2是一个相位超前网络。两个网络叠加，还产生带通滤波选频的作用。对于IC1A的同相输入端，特定频点的信号从IC1A的输出端返回至此时，刚好与原信号同相，即是产生正反馈。产生的振荡要持续起来，需符合两个条件。除了要有正反馈外，还要求环路增益等于1。由于文氏电桥有3:1的衰减，所以要求电路有3倍放大的增益。为此，将运放负反馈网络的R4、R3和VR1取成略高于3倍放大量的

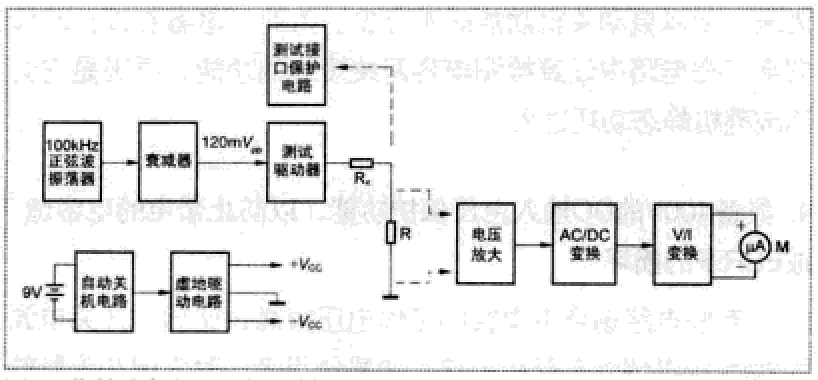


图16 指针式电容ESR表设计框图

值，并通过VR1调节来确保电路起振。VD1、VD2与负反馈电阻R4并联，起到稳定振幅的作用。

文氏电桥振荡器的振荡频率计算式为

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{R1C1R2C2}}$$

由于信号在运放内部产生相移，按照此公式计得的结果总是与实际有出入。图17中的文氏电桥阻容取值是经实际调试得到的。

2. 衰减器与测试驱动器

为获得适合于在路测量的电平，在电路中设置了由R5、R6组成的11:1电压衰减器，将1.3V_{pp}的振荡器输出电压降为120mV_{pp}，然后直接送往IC2A。IC2A相当于设计框图中的测试驱动器，电路形式为同相缓冲器。其增益等于1，因而获得最深的反馈，令输出阻抗最小化。R7是用于防止运放出现异常的自激现象，已被纳入运放的负反馈环路内。

3. 测试接口及保护电路

保护电路基本与图14所示的国外电路一致。图17中，用于提供直流保护（隔直）的电容C3需要承受高压，所以取耐压较高的400V规格。这只电容串在测量回路中，对其容抗有要求，容量越大就越有利。但受体积限制，因此选用ESR甚低、容量相对较大的1μF聚丙烯电容（WIMA的MKP10）。R8为C3的放电电阻。若没有R8，当ESR表测量带有高压电的电容后，C3上的电荷可能会造成对使用者的电击。VD3、VD4的作用在前面已提及，是起限制直流电压的作用，防止误测未放电电容时造成ESR表的意外损坏。

测试驱动器作为测量信号源，与被测电容、C3、检测电阻R9形成一个测量回路。通过前面的原理介绍，我们知道，测量回路的内阻应等于表头刻度中心值（MF500为10Ω）。这里因驱动器的输出阻抗较低，C3在100kHz时的交流阻抗也较小，故暂时将R9取值为10Ω。笔者本来打算在制作完成后，再根据验核情况，通过加并一只电阻将R9的值调小一些。后来检查发现，10Ω的R9已基本满足要求。

4. 表头驱动电路

图16所示的设计框图中的电压放大、AC/DC变换和V/I变换，是由图17所示的IC2B及其周边元件完成。图17所示的虚线框内的表头电路本身可做V/I变换工作，IC2B则担负电压放大的责任。此外，通过IC2B的负反馈，为二极管VD5和VD6的整流（即AC/DC变换）提供改善线性的作用。RP2用于欧姆调零的粗调，其阻值的大小决定了电压放大的增益。虚线框实为MF500万用表欧姆挡的表头电路，由原表搬移过来，其中RPm为欧姆调零电位器，设在面板上。为提高安全性，表头电路采用不同于图15理想二极管电路中的接法。表头电路两端接在VD5、VD6之间，悬浮于地线，与地线的直流通路由C4阻断。若采用图15所示的接法，则表头驱动电路中有某个元件损坏，或者制作过程中出现一个错误，IC2B输出端往往会出现严重的直流偏移电压，令昂贵的表头受损甚至烧坏。由于工作频率高达100kHz，这里对半导体器件特性的要求较高，需使用频响特性好的运放，压降小的锗二极管。否则，线性度将大大受损，直接使用万用表欧姆刻度时会带来很大误差。

5. 单电源转双电源电路

该电路以IC1B为核心，常被称为虚地驱动电路。R17

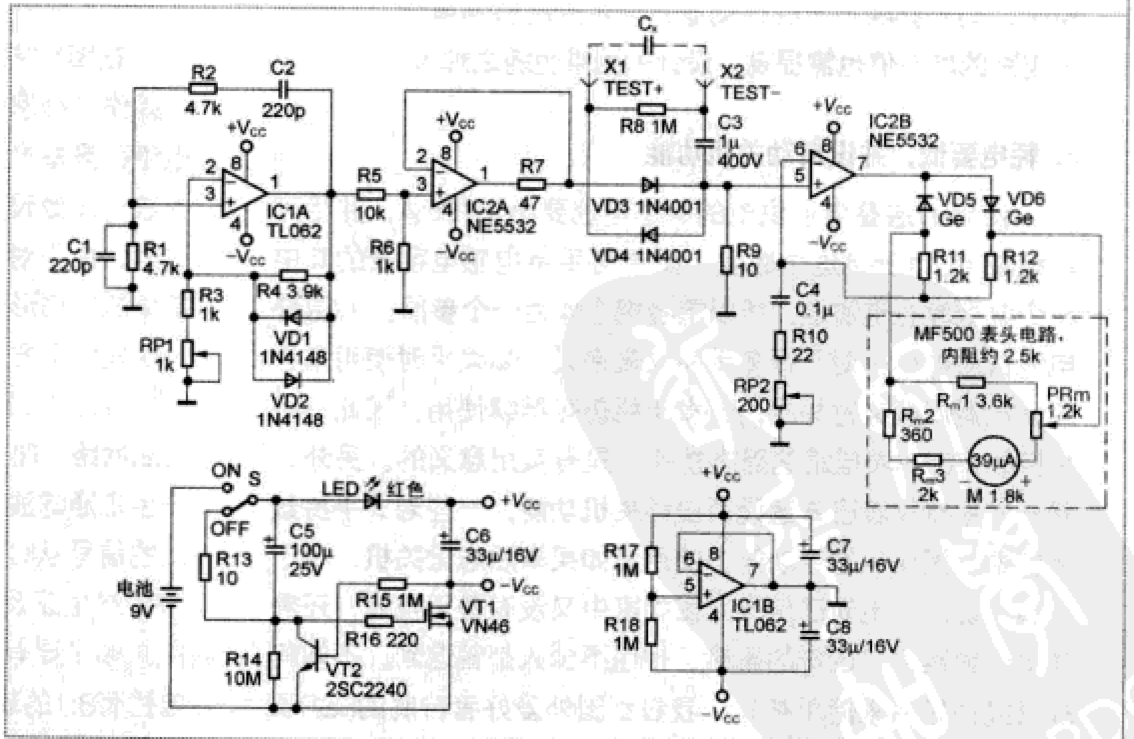


图17 指针式电容ESR表整机电路图

和R18从单电源中取得中点电压，送往IC1B的同相输入端。IC1B接成缓冲器形式，利用其很深的负反馈，使得输出端紧紧跟随同相输入端的电位。这样，就实现了由+9V单电源到±4.5V双电源的变换。所用的TL062为JFET输入型，输入阻抗很高，故允许R17和R18取较高的值，这样可减轻一些电源消耗。

读者看完后面介绍的测试驱动器试验情况，可能会有疑问：接成缓冲器的TL062在100kHz时表现不佳，能否保证工作频率高达100kHz的整个ESR表的电源需求？这种担心不无道理。假如缺少C7、C8这两只电源输出滤波电容，确实是成立的。但有了这两只电容之后，情况就变得大不相同。这时，只要TL062能保证低频时有足够的输出电流供应即可。因为高频段的电源要求，是由C7、C8承担的。这其实与很多电子设备的常见情形一样，包括线性稳压电源和开关电源在内的绝大部分稳压电源，仅能保证音频频率以下的范围具有足够低的输出阻抗，超出此范围还是要依靠电源输出端的滤波电容。此电路的工作原理实质上等同于线性稳压电源，其中，IC1B肩负了后者的误差放大器和调整管的任务。

6. 自动关机电路

VT1是关机控制的关键器件，这里使用MOSFET，利用其阀值电压高（约为3V）、输入阻抗高的特点，以实现长时间的延时。R16是VT1的抑振电阻，防止G极引线过长时VT1自身产生振荡。C5为定时电容，R14为定时电阻，从开启电源到自动关机的定时时间大致为30分钟。三极管VT2用于改善关机末段的特性，R15为其提供限流作用。LED用于电源指示，串在电源线上，这与一般的安排不同，好处是能减小电源消耗，因为LED需通以1~7mA的电流才能正常发光。

此电路的延时（定时）关机工作过程如下：当合上电源开关 S（即置于 ON 位置）后，+9V 电池经过 R14 对 C5 进行充电。由于电容两端的电压不能突变，VT1 的 G 极处于高电位，因此 VT1 导通，+9V 电池经过 LED 对整机进行供电。VT1 的通态电阻很小，远小于 1Ω，VT1 导通后 D、S 极间的压降可以忽略。C5 充电后，C5 两端电压随着时间的推移而逐渐上升，VT1 的 G 极电压随之降低。当低于 VT1 的阀值电压后，VT1 开始进入截止，D、S 极间的压降上升。一旦这个压降高于 VT2 的开启电压，VT2 开始导通，因 VT2 与定时电阻并联，所以加快了 C5 的充电进程，促使 G 极电压进一步下降，这样就形成了一个正反馈过程，使得 VT1 迅速关断，从而完成了关机动作。

整机不开机时，电源开关S置于OFF位置。由电阻R13给C5迅速放电，以准备下一次的应用。R13为10Ω的小电阻，之所以没有用导线代替，是为了防止放电电流过大而引发S触点间产生电弧，导致S使用寿命缩短。

4 实际调试过程

完成初步的电路设计后，就进入电路调试阶段，实行边调试、边修改，直至最终完善。这个指针式ESR表的调试工作主要集中在4个部分，下面一一分述。

一、100kHz正弦波振荡器

图17中的100kHz正弦波振荡器，经试验，±4.5V电源下实测振荡频率为97kHz，振幅（输出电平）约为1.3V_{pp}。若电源电压降至±3.5V，监测的示波器上未见到振幅和频率的明显变化。当电源电压降至±2.5V以下时，才出现停振或频率明显提升的现象。笔者做此试验，是在完成自动关机电路前进行的，因此与实际情况不相符，RP1的调节也是按±4.5V电源。加入自动关机电路后，由于LED在电源线上产生2V压降，IC1实际得到的电源电压为±3.5V。有兴趣的读者可就此作试验，确认电池电压在正常下降范围内，振荡电路是否出现异常。

如果将IC1A换为其他型号IC，则振荡频率、振幅会产生变化，有时还需改变VR1位置才能保证起振。将VD1、VD2改为锗二极管后，笔者曾作过更换运放的试验。试验结果见表1。

在此选用TL062双运放，是因为这块IC为低静态功耗IC，比表1中其他型号都低很多。±4.5V电源下实测静态电流为250μA（原厂即ST公司的TL062实测值，TI公司的则为300μA）。

二、衰减器与测试驱动器

这部分的电路相当简单，其中衰减器一装就成。但是测试驱动器的设计调试并非那么容易，笔者先后面临三个需要解决的问题。

一是运放IC的电流输出能力问题。运放IC内部均设有输出限流保护电路，通用型运放仅保证毫安级的最大输出电

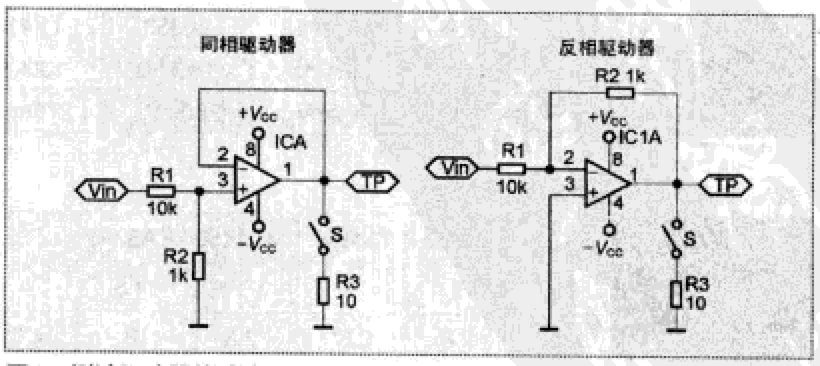


图18 测试驱动器的试验

流。此表测量时驱动器最大输出电流达到12mA$_{pp}$左右，所用运放能不能符合要求，还是未知数。正因为如此，笔者动手搭焊电路后，第一项试验就围绕它来开展。把常用的运放IC装到电路中（如图18的同相驱动器），接10Ω负载，输入由低频信号发生器产生的合适正弦信号，用示波器进行监测。经试验，TL062、TL072、TL082在输出高于10mA$_{pp}$时有明显失真，达到20mA$_{pp}$就进入限幅，即不能再增长。CA3240只测了12mA$_{pp}$时的输出情况，波形负半周削波十分严重。LM358直至输出20mA$_{pp}$才见到明显失真，此时已进入限幅。LF412、LF353的表现与LM358相近。这说明，前4种IC均不能采用，后3种可以过关（后来又增加NE5532、AD827）。笔者留意到，限流保护电路表现良好的后3种IC均为NS公司的设计，想起该公司新一代音频功放IC中的Spike保护电路如此著名，方意识到这方面原来是有传统的。

二是输出阻抗问题。如果不够低，就会令ESR表测量信号源的内阻变得过大，达不到原设计要求，从而影响测量精度。试验时，电路、仪器的连接与检查最大输出电流时相同。采用1.3V$_{pp}$的100kHz正弦波作测试信号，通过接入与不接入10Ω负载，观察输出波形的幅度变化，以此判断输出阻抗符合要求与否。实际上，这项测试还检验了运放的大电流输出能力。试验证明，GBW（增益带宽乘积）越大的运放IC，在这里的表现确实越好，与理论相吻合。LM358、MC1458、TL062根本不行，LF412、LF353、TL072、TL082、CA3240表现尚可，NE5532、AD827表现较佳。

三是表笔的长引线导致运放自激问题。这种自激不是国外称之为“奈奎斯特振荡”的大环路自激，而是产生自输出级，实质还是长引线的电容效应引起。运放内部的输出级为多级射极跟随器（或类似结构），带电容负载容易出现本级振荡，关于这一机理的解释，国内编写的资料似乎从未出现。感兴趣的读者可参看日本黑田彻的《晶体管电路设计与制作》译本。笔者试验发现，几乎所有型号的运放都有这一自激问题潜在。输出端接示波器的X10探头时（相当于接上具有屏蔽引线的表笔），有的运放（如LM358）自激严重，有的运放（如LF412）有时候能观察到自激发生，有时候又一直不出现。为保证ESR表能可靠使用，需彻底根治。笔者几经思考，“发明”了图17中的R7这一电阻。只要R7达到22Ω，试验的运放都不出问题。R7的存在会导致驱动器输出阻抗稍升高，但为稳妥起见，笔者最后还是取较高值的47Ω。

笔者还试验了图18中的反相驱动器电路，表明其特性与同相驱动器没有本质的区别。须注意的是，图18中的两种驱动器电路均带有电压衰减功能。反相驱动器电路的衰减比率为10:1，不同于同相驱动器电路的11:1。

三、表头驱动电路

表头驱动电路是整个ESR表电路中笔者设计试验最花时间的部分。期间，曾多次走过弯路。

最先试验的是如图19所示的常见电路。此电路中，VD1~VD4构成桥式整流，将AC信号变换为DC信号。并利用IC2B提供的负反馈，改善变换的线性。开始时，笔者用LM358对图19的电路作试验。Rm不接，改为50μA表头（实际使用MF30指针万用表的50μA挡），RP1调为100Ω。输入30mV$_{rms}$正弦信号，此电平与ESR表工作时相近，按简单理论，表头应有20~30μA的电流流过，但表头的指针几乎不动，有2~3μA，指示的电流远小于预计值。这说明，此电路的低电平线性极差。

这个运放配桥式整流器的电路与图17中的表头驱动电路一样，等效于一个压控电流源，如图20所示。对于理想的运放，图20有如下线性关系：$I=V_{in}/R$。由于测量频率高达100kHz，实际运放的开环增益在此频点上大幅下降，已不能再视为理想运放。就AC/DC变换来说，理想的变换效果应为图21(a)和图21(c)所示的样子。但实际得到的是图21(b)和图21(d)所示的效果。对于刚才的试验，示波器观察表明，ΔV和ΔT在波形中所占的比例，比图里画出的要大得多。也因此，变换特性很差，表头只得到很小的电流。

再看图19所示的表头电路，流过表头的电流必流经其中

表1　换用不同运放IC时的正弦波振荡器输出

IC型号	TL062	LM358	MC1458	LF353	LF412	NE5532	AD827
频率	100kHz	90kHz	95kHz	130kHz	130kHz	150kHz	150 kHz
振幅	245mV$_{pp}$	225mV$_{pp}$	200mV$_{pp}$	280mV$_{pp}$	275mV$_{pp}$	300mV$_{pp}$	300mV$_{pp}$

表2　常用双运放的频响和功耗参数

IC型号	TL062	TL072	LM358	MC1458	CA3240	LF353	LF412	NE5532	AD827
GBW(MHz)	1	3	1	1	4.5	4	4	9	75
静态电流（mA）	0.25*	2.8	0.6*	2.3	8	4.3*	3.6*	7*	10*

注：1.带“*”号的是笔者在±4.5V电源下的实测值　　2.表中的TL062为ST公司产品

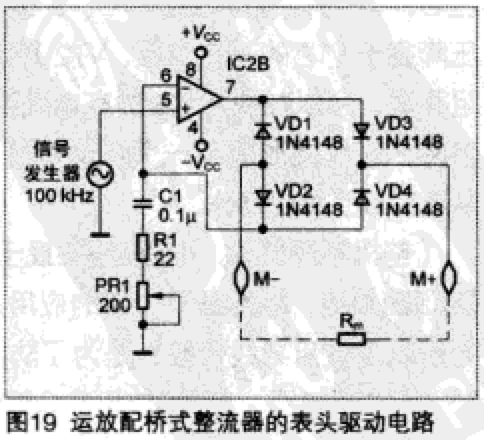


图19　运放配桥式整流器的表头驱动电路

2只二极管。也就是说，表头支路在正、负两个方向上，除表头的压降外还有2只二极管的压降，运放增益为此付出的额外“开销”也更多，线性较差也就不奇怪了。于是，笔者转向国产DA-16毫伏表所采用的表头驱动电路方案，如图22所示。该电路的二极管用量比前者少一半。电路试验表明，图22电路的转换“增益”较高，比图17还要高，原因是C2、C3具有峰值保持作用。但经过多次反复试验，低电平时的线性表现仍甚差，纵使VD1、VD2换上锗二极管，也无法满足现在ESR表的要求。为此，笔者特意在网上找来DA-16毫伏表的正面照片一看，方恍然大悟。原来，该毫伏表的电压刻度是专门绘制的，低值区部分的刻度间隔并非像标准电压表那样均匀分布。

最后，笔者采用第三种（也就是图17的表头驱动电路）作试验。为求得最佳的电路效果，笔者以运放的增益“开销”为重要的判断标准，对该电路进行了分析计算。分析计算用的电路如图23所示。图中，表头M的内阻为Rm，两只电阻取值一样，均为R1。

忽略二极管VD上的压降，假设表头M的满幅电流I_m=100μA，表头内阻Rm=2kΩ，输入电压V_i=40mV_{rms}（相当于113mV_{pp}）。那么，当$R1=Rm$，则运放输出最大的正向电压时有：

$V1=I_m(R1+R_m)=0.4V$　　$I1=V1/R1=200\mu A$

$If=I1+I_m=300\mu A$　　$Rf=Vi/If\approx 133\Omega$

$Gv=Vo/Vi=1+V1/Vi=1+0.4V/40mV=1+10=11$

最后一项的Gv是运放的闭环增益。其值越大，对运放提出的要求也越高。对于已选定的任一运放，这个闭环增益越大，可用的负反馈量就相应减小，线性度因而变差。类似地，可以计算R1其他取值时的结果，这样就得到表3。

从表3可看出：R1取值高于Rm时，闭环增益升高，导致表头驱动电路的负反馈量减小，不利于消除二极管整流的非线性。R1取值低于Rm时，R1越小，无用的输出电流越大，且Rf值开始偏离常用元件的范围，在可用负反馈量上的得益却不多。因此，笔者决定取R1=0.5Rm的方案。鉴于MF500表头电路（图17虚线框）内阻为2.5kΩ，故R1取值为1.2kΩ。Rf则为22Ω固定电阻和200Ω微调电阻的串联之和，以便用作欧姆调零的粗调，于是得到了图17的表头驱动电路。

以上的计算，实际是表头流过最大电流时的情形。若考虑二极管VD的压降影响，则当VD为锗管时，因为约有0.1V的压降，由0.1V/40mV=2.5可得，表3中的Gv值均应加上2.5。当表头电流减小（输入信号减小），由于二极管VD的压降基本不变，此时对运放提出的要求会增加。现在回头看图19的运放配桥式整流器的表头驱动电路，由于二极管数量增加了一倍，对于高灵敏度的表头来说，其低电平的线性将明显差于图17的表头驱动电路。

确定电路之后，下一步是选用合适的运放。笔者将手头的运放装上电路，进行线性度的检查。用2.7kΩ的电阻代替表头电路，向运放输入100kHz不同电压的信号，用数字万用表测量电阻两端的DC电压，得到了表4的结果。

可以看出LF412和LF353的表现较差，NE5532则可以与GBW达75MHz的高速运放AD827媲美。用示波器观察信号波形，也是如此结果（参见图21）。笔者查阅运放手册发现，GBW高于10MHz的高速双运放，不是难于购买、价钱高昂，就是静态电流过大，几乎没有低于10mA的。NE5532的静态电流仅7mA，比AD827小30%。NE5532是曾被称为音响运放之皇的NE5534的双运放版，以音频和低噪声应用最为著名。在这个工作频率达100kHz的场合中，它的表现如此优异，令我刮目相看。难怪当年美国BB公司推出迄今仍是业界最高性能的R-2R音响用DAC芯片PCM63时，舍弃众多的新一代高性能运放，选择了NE5534用于应用电路的评估演示，并写进Datasheet里。笔者一共试验过两种NE5532，一种是原厂SIG公司的，另一种是到本地电子商店新购的TI公司制品。试验证明，两者在ESR表中的表现没有差别，静态功耗也接近一致。

四、自动关机电路

笔者曾考虑直接使用如图24的自动关机电路。此电路较为成熟，被国内很多型号的数字万用表采用。但由于其电路不够简洁，又需使用双刀双掷开关，装制安排较麻烦，故决定采用分立元件电路，为此重新进行了设计试验。

最初的设计如图25所示。电路十分简单，可以实现所需的延时关机。在图25（a）与图25（b）电路中，因为电容充满电的电压相

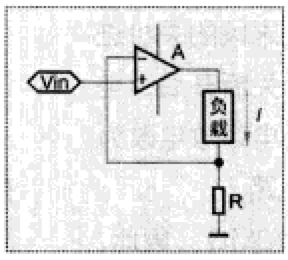


图20 压控电流源的概念图

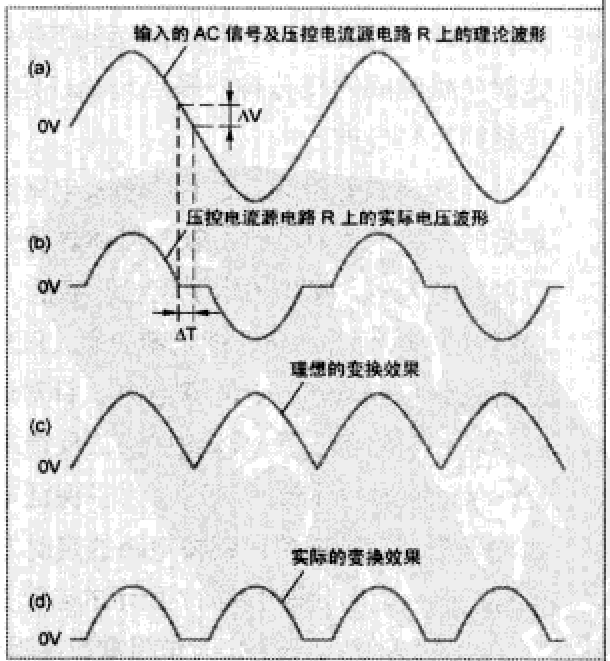


图21 理想的AC/DC变换与实际的AC/DC变换

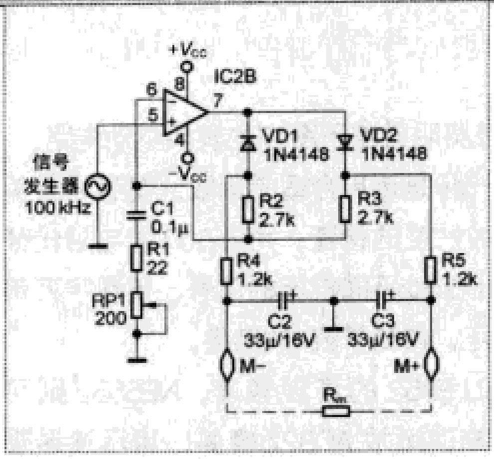


图22 DA-16式表头驱动电路

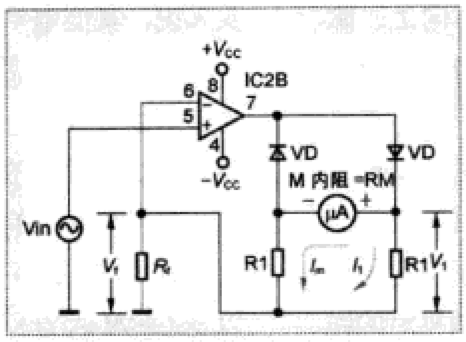


图23 表头驱动电路的计算分析图

表3 表头驱动电路的计算

R1	运放闭环增益Gv	Rf	运放输出电流If
R1=5Rm	31倍	180Ω	220μA
R1=Rm	11倍	133Ω	300μA
R1=0.5Rm	8.5倍	100Ω	400μA
R1=0.2Rm	7倍	60Ω	700μA
R1=0.1Rm	6.5倍	33Ω	1200μA

表4 四种运放用于表头驱动电路的线性度检查

IC型号	输入AC电压	10mV (-30dB)	31.6mV (-20dB)	100mV (-10dB)	316mV (0dB)
LF412/LF353	实际DC电压输出	15mV	75mV	270mV	890mV
	理想DC电压输出	28.2mV	89.2mV	282mV	890mV
	相对误差	46.7%	15.7%	4.1%	0%
AD827	实际DC电压输出	28mV	90mV	290mV	920mV
	理想DC电压输出	29.1mV	92.0mV	291mV	920mV
	相对误差	3.8%	2.2%	0.4%	0%
NE5532	实际DC电压输出	28mV	90mV	288mV	917mV
	理想DC电压输出	29.0mV	91.7mV	290mV	917mV
	相对误差	3.5%	1.9%	0.8%	0%

注：以输入316mV时的实际DC电压输出作为基准

表5 电容漏电特性试验结果

符合漏电要求的电容	不符合漏电要求的电容
1. 松下的FC电容100μF/25V（体积较小） 2. 日本化工的KME电容100μF/35V（体积中） 3. ELNA的Starget电容22μF/100V（体积大） 4. 标识为SSL的LL电容10μF/63V（体积小） *注：LL表明其为低漏电（low leakage）电容	1. 三洋OSCON固体电解100μF/20V 2. 泪滴形的固体钽电解22μF/16V 3. Spargue的503D电容47μF/16V 4. Nichicon的Muse电容33μF/16V 5. Nichicon的SE电容100μF/10V 6. ELNA的Cerifire电容10μF/16V 7. 标识为HUAHONG的电容33μF/25V 8. 标识为HUAHONG的电容10μF/50V 9. 标识有IC和RM的电容150μF/16V

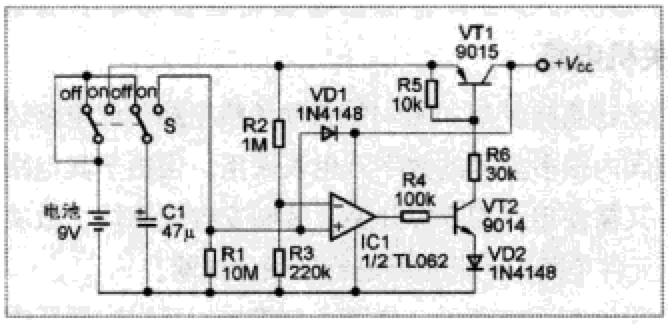


图24 数字万用表中常见的自动关机电路

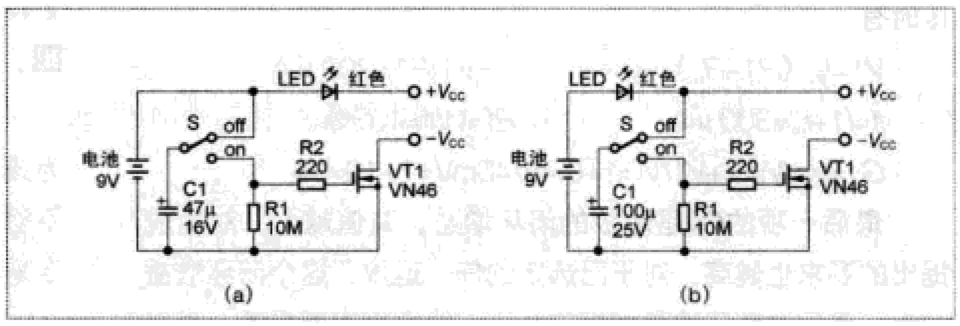


图25 特性欠佳的简易式自动关机电路

同，对于相同的定时电容C，两个电路的定时时间在理论上是一样的。经试验，采用47μF定时电容的图25（a）电路，定时关机时间约15分钟，采用100μF定时电容的图25（b）电路约为40分钟。

但笔者试验发现，这种简易式电路有一个严重缺陷，就是定时末段的关机特性过软。具体表现为：在关机前长达数分钟的时间内，输出的电源电压已甚低，不足以让 ESR 表电路正常工作，但此时还不能切断电源，LED 仍发光指示。这样，就容易给 ESR 表的使用带来误判。针对这一问题，笔者增设三极管和电阻各一只，以此引入正反馈来加快末段的关机进程，使关机特性变硬。同时，为了保证电源开关断开后，电池与电路没有硬连接，还将电路的定时方式由电容放电改为电容充电，最后就得到图 17 所示的自动关机电路。

由于定时时间长，定时电阻需取高阻值的 10MΩ。因此，图 17 的自动关机电路对定时电容的漏电特性要求较高，漏电阻须在 20MΩ 以上，否则，VT1 就不能关断，ESR 表也就不能自动关机。笔者用手头不同型号的电解电容作过试验验证，试验的方法是：在图 17 的定时电路中，用 1kΩ 电阻代替 ESR 表电路，作为自动关机电路的负载。并拆下（或不装上）VT2。合上电源开关 S1，用镊子临时短路 R14 两端，然后松开——这样就让定时电容 C5 完成了充电。观察 LED，若 LED 仍发光，表明电容漏电过大，若 LED 熄灭，则表明电容符合要求。试验证实，只有小部分电容或标明是低漏电特性的电容符合该电路的漏电要求，仅占试验总量的 31%。详见表 5。

回过头来看，对电容漏电要求高这一缺点，其实是设计时取舍折衷后的结果。如果改以图25所示的这种电容放电式定时电路为蓝本，则没有这一缺点，但电池与电路有硬连接。如果再进一步，将开关改为图24所示的方式，则可以消除电池与电路的硬连接，但需使用双刀双掷开关。三种电路方式均有得有失。

5 整机制作及使用

一、整机装嵌

电容ESR表是以MF500指针万用表为基础进行改装的。由于是单次制作，又为了方便调试时更换元件、改变电路，主电路板采用了俗称“洞洞”板的PCB进行搭焊。ESR表电路的大部分元件都装在这块“洞洞板”上，其中，运放IC均使用插座，体积硕大的1μF/400V电容作横卧式安装，用尼龙扎带绑牢。

当完成主电路板的调试后，剩下的装制工作就比较简单。一是将表头取下，小心地在刻度板上钻孔，然后安装LED电源指示灯。二是将主电路板固定在万用表内。三是利用MF500原有的PCB，拆除上面的所有元件，接好表头电路以及电源开关。四是接好主电路板、电源LED、表笔插座、表头电路、电源开关和电池仓等的接线。

装制时，笔者利用原表的右侧挡位开关作电源开关。电源开关的ON位置是并联了原X1、X10、X100、X1k、X10k挡位所用的多个触点，OFF位置则使用原来的“·”挡位（关闭挡位）触点。这样，就有了开机的冗余功能，只要将MF500万用表右侧的开关打至X1、X10、X100、X1k、X10k之中的任一挡位，即可开机。将挡位开关打至“·”挡位，即为关机。MF500万用表其他挡位（包括左侧的挡位开关）则闲置不用。

为方便日后了解这个ESR表的使用，笔者还做了一些标识工作。一是打印“电容ESR表”的纸条，裁好后贴在表头的刻度板空白处。二是打印ESR表的主要参数和帮助判断电容好坏的ESR参考极限值表，贴在表的背面。并喷上透明漆，以增强防水性和提高使用寿命。

ESR表的具体装制情况，可从图26中一览端倪。

二、性能参数及使用

电容ESR表装好后，笔者重点进行了两项检查。一是用精度较高的金属膜电阻进行误差的评估。得到的结果是大

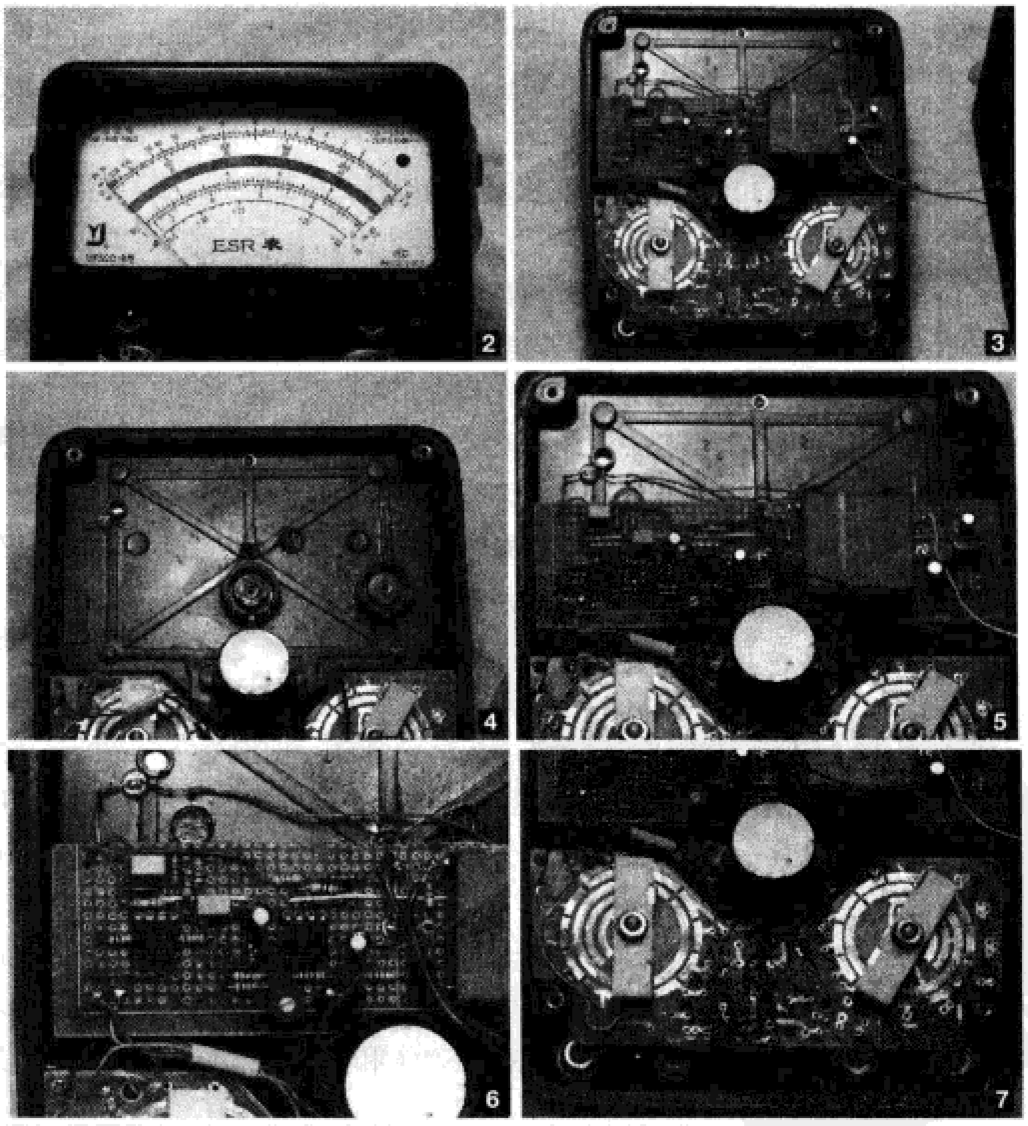
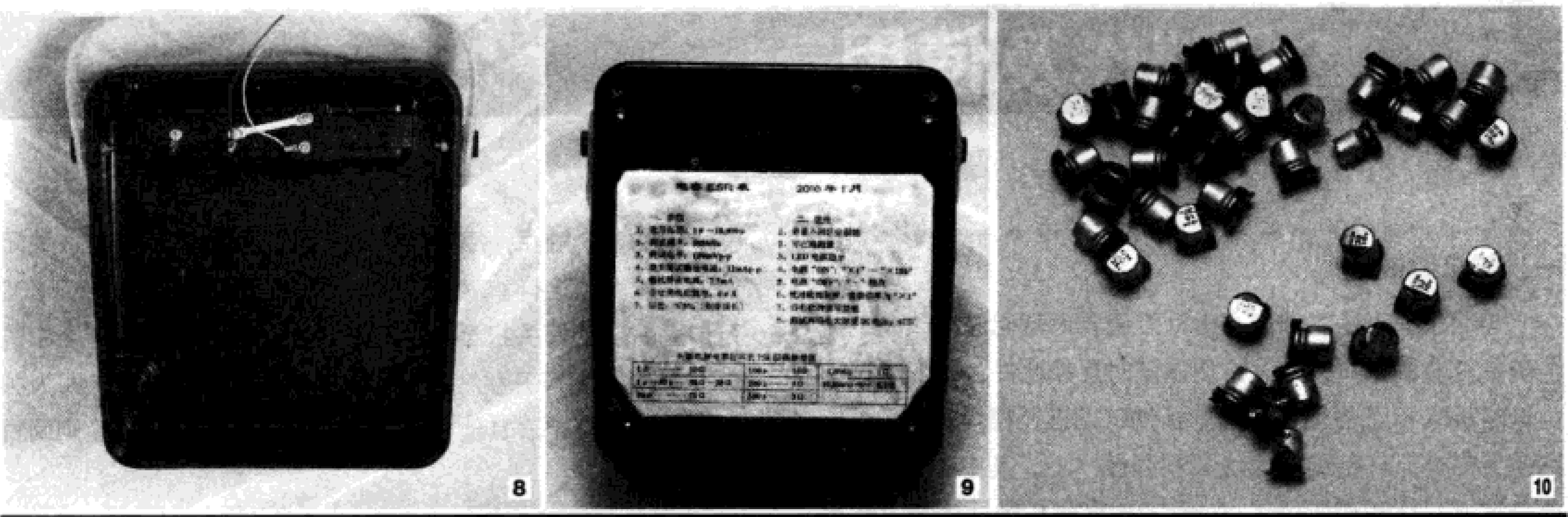


图26 （1）~（7）ESR表的装制情况

1 完工的电容ESR表正面照
2 刻度板右上角加装电源指示灯LED
3 自制ESR表的内部
4 左上角已装LED但表内未装主电路板
5 已安装好的主电路板
6 电路核心集中在主电路板的左侧
7 原表内PCB的改装



8 设有电池仓的底盖　**9** 已贴纸并喷上透明漆的后面板　**10** 维修示波器时换下的贴片电解电容

图26 （8）～（10）ESR表的装制情况

概值，因所用的金属膜电阻高频特性未明。二是直接测量二极管（包括锗二极管）、BJT（即三极管）、MOSFET 、JFET、晶闸管（即可控硅），看一看指针有没有摆动，以此判断在路测量电容时半导体器件会不会带来影响。检查证明，除JFET外都完全符合在路测量的设计要求。当JFET在接成有源开关导通的形式（比如，S极与G极短路）时，指针会摆动，其中2SK246的指示值约500Ω，Gm较大的2SK170指示值约50Ω。如果JFET三脚悬空，测量任意两脚，指针也不会摆动。由于JFET的应用场合少，也极少作为执行器件来使用，因此，对于电容ESR表的在路测量来说，不会带来多少限制。

综合设计调试和检查所得，笔者制作的电容ESR表的主要参数和使用特点如表6所示。

实际使用电容ESR表时，需要对被测电容的ESR值正常与否作出判断。国外网友总结了不少经验，给出一些参考数据，可供我们应用。表7所示的是一个比较简明的参考表。测量得到的普通电解电容ESR值，如果接近或超出表中的极限值，可以认为此电容已出问题。如果远低于极限值，比如只有1/10，则可以认为没有问题。如果处于中间区域，则存疑。使用者适应一段时间后，就可以用ESR表来快速检测电解电容了。

须注意的是，表中给出的仅是用于判断普通电解电容的数据，也没有列明耐压规格。对于正常的电解电容，低ESR型的典型ESR值比普通型要低得多，后者往往是前者的数倍至数十倍。对于同一品种的正常电容，耐压规格不同，ESR值也不同，耐压高的电容ESR值更小。

制作完成后，笔者对之前维修Tektronix的TDS420数字示波器时成批拆下的30多只贴片电解电容进行了一次复测。当时发现这批贴片电解电容（主要有33μF/10V和10μF/35V两种）有一部分出现电解液渗漏，因此将全部30多只更换。实际只复测了10多只，竟发现其中40%的ESR值有问题，有二三只还高达500Ω。

此电容ESR表主要用于1μF以上电解电容的检测。由于显示数值范围较宽，也可以辅助检测非电解电容，以及容量不是太小的电容，比如0.01μF以上的电解电容、陶瓷电容和薄膜电容等。对于新购的电容或手头的旧电容，也可用它来进行辅助性的质量判断，如果能查到其100kHz阻抗参数，判断就更为准确。使用前，应先进行欧姆调零，即是将两支表笔短路，调节面板上的欧姆调零电位器旋钮，让指针指向0Ω刻度。然后用表笔分别接触电容的两个引脚，即可进行测量。因测试信号是交流信号，测量时不用区分表笔的正、负极。使用过程中，如遇到ESR表自动关机（LED指示灯熄灭），则将电源开关打至OFF位置，再打回至ON位置，即可继续使用。

三、制作注意事项

可能有些读者想参照笔者的电路和做法，来制作指针式电容ESR表。现提供一些参考：

1. 关于利用其他型号指针万用表进行改装

前面的测量原理介绍中，已说明了具体的方法。须注意的是，如果在利用原刻度的同时，还想扩大低阻分辨率，将中心刻度值标定为小于10Ω，就必须保证电路具备足够的电流输出能力。比如说，中心刻度值原为20Ω，想标定为2Ω，测试输出电平仍使用120mV$_{pp}$。可计得，测试端口最大输出为60mA$_{pp}$（单个方向为30mA），图17所示的电路就不能满足要求，需要对IC1B和IC2A这两个运放进行电流输出能力扩展，其中一个扩展办法见图27。若扩展电流后遇到自激

表6 自制电容ESR表的主要参数及使用特点

主要参数	使用特点
1. 适用范围：1～10000μF	1. 测量不分正负
2. 测试频率：100kHz	2. 可在路测量
3. 测试电平：$120mV_{pp}$	3. LED电源指示
4. 最大测试输出电流：$12mA_{pp}$	4. 电源“ON”：“X1”～“X10k”挡
5. 整机静态电流：7.5mA	5. 电源“OFF”：“·”挡位
6. 自动关机后耗电：6μA	6. 使用欧姆刻度，读数倍率为“X1”
7. 误差：≤5%	7. 带有欧姆调零旋钮
	8. 测试两端最大耐受DC电压：400V

注：误差是测量交流阻抗、以刻度弧长为基准的估算值

表7 普通电解电容的ESR极限值

容量	ESR极限值
1μF	50Ω
1～50μF	50～20Ω
50μF	20Ω
100μF	10Ω
1000μF	1Ω
10000μF	0.1Ω

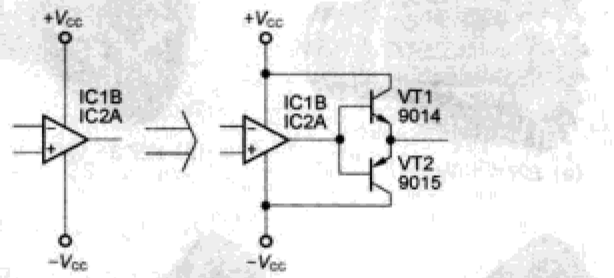


图27 运放的输出电流扩展

问题，可考虑参照音频功放输出端加装茹贝尔网络、抑振电感等办法来处理。

此外，由于表笔的接触电阻有数十毫欧或更高，如果过于追求低阻的分辨率，并没有太大的意义，对于ESR表的主要用途来说，就更是如此。

2. 关于元器件的使用

图17所示的电路均使用普通的元件。个别处有额外要求，在前面已作说明。这里再做一些补充。

一是体积大的直流保护电容C3。如果表内空间不够，可适当降低C3的规格，比如采用耐压更低、容量更小的0.33μF/100V MKS电容，但DC电压保护范围将随之降为100V，测量精度也会受到影响。

二是表头驱动电路的锗二极管。笔者实际使用的是从旧收音机电路板上拆取的玻璃封装锗二极管。读者可以使用点接触型的锗二极管，比如国产的2AP9。如果对二极管的材质有怀疑，可用数字万用表的二极管挡或指针万用表的LV刻度进行检查，压降约0.1V的即为锗管。

三是100kHz正弦波振荡电路的RP1。可在调试好振荡器电路后，用固定电阻代替，以提高可靠性。笔者就是这么做的。

四是自动关机电路的晶体管。三极管型号为2SC2240，MOSFET型号为VN46，其实都是笔者随手抓来的。可以使用普通的N极型三极管和MOSFET（如IRF510）代替，这里并没有特殊要求。另外，读者还可改用图24的“标准”自动关机电路，这样可放宽对定时电容C5的漏电特性要求。

五是运放。如果不考虑功耗，IC1可选的型号可以更广，几乎所有通用型运放都可用。但是，由TL062改为其他型号后，振荡频率可能有变，这时需对R1、R2阻值作相应的改变。如果改为BJT输入型的运放，R17和R18宜改为100kΩ以下。至于IC2，没有多少其他选择的余地，除非在整机精度或功耗上作妥协，又或者再在前面增加一级电压放大。幸好，作为IC2的NE5532十分容易购得，售价也很低。

3. 关于PCB布线

在PCB的布线上，要注意将100kHz振荡电路远离驱动器输出端和表头驱动电路，双电源的滤波电容C7、C8要靠近IC2安装。为避免地线上流过电流带来的不良影响，检测电阻R9的接地脚尽可能靠近RP2的接地脚，两者相接后，再用引线接至地线。

4. 关于整机调试

按图17所示的电路图装制完毕，开机后，应先检查电源电路是否有双电源输出，即测量$+V_{cc}$和$-V_{cc}$的对地电压。之后，才对其他电路进行检查调试。

第一项调试是调节RP1。如果有示波器，将探头接IC1A的输出端。调节RP1，应能令振荡器起振。然后，继续调节至输出良好的波形为止。如果没有示波器，则用数字万用表的AC电压挡来代替。虽然普通数字万用表的测量频响有限，大多为1kHz左右，但可以读取100kHz的电压，只是误差甚大而已，足可供我们这里使用。这时，边调节RP1，边通过数字万用表的读数判断电路起振与否，最后将RP1调节在起振位置的中点即可。

调好振荡器电路后，将ESR表的表笔短路，表头的指针应能摆动。否则，需检查和排除测试驱动器和表头驱动电路等的故障。将欧姆调零电位器RPm调到中间位置，然后调节欧姆调零粗调电阻RP2，让指针指向0Ω刻度附近，这样就完成了表内的调试。如果不能指向0Ω刻度附近，则应检查表头驱动电路负反馈部分及表头电路。

装嵌好整机后，再按正常的使用方法，用固定电阻代替被测电容进行一次误差复查，确认测量误差应在10%以内，即可交付使用。

◎刘祖明

LED照明灯具

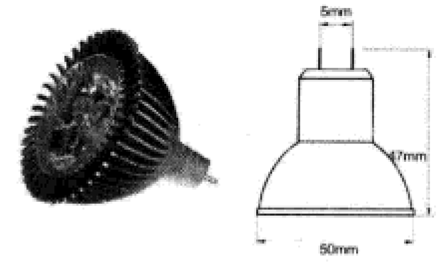
LED照明又称固态照明，作为继白炽灯、荧光灯后的第三代照明技术，具有节能、环保、安全可靠等特点，固态光源是被业界看好的未来十年替换传统照明器具极具潜力的新型光源，代表着照明技术的未来，应用领域包括室内和室外照明、汽车、显示器、电视机、手机相机闪光灯、便携照明（如手电）和信号照明等。发展新固态照明，不仅是照明领域的革命，而且符合当前政府提出的“建设资源节约型和环境友好型社会”的要求。本文主要介绍常见的LED照明灯具。

一　LED射灯

LED射灯就是用发光二极管作为光源的射灯。传统射灯多采用卤素灯，发光效率较低、比较耗电、被照射环境温度上升、使用寿命短。LED在发光原理、节能、环保的层面上都远远优于传统照明产品。而且LED发光的单向性形成了对射灯配光的完美支持。大部分以MR16为主，其中插脚式的称为MR16，按灯脚区分，还包括E27、GU10等。

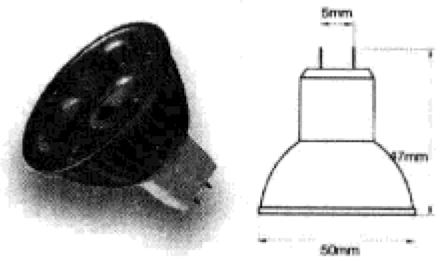
1. MR16 射灯　目前市场上用量较大的主要有MR16 1×1W、MR16 3×1W、MR16 1×3W 、MR16 5×1W、MR16 1×5W 等，如图 1 所示。

（a）MR16 1×1W



（c）MR16 1×1W示意图

（b）MR16 3×1W

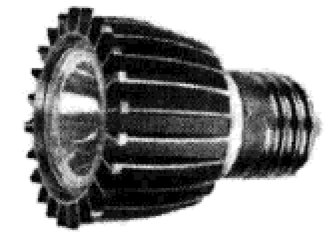


（d）MR16 3×1W示意图

图1 部分常用的MR16灯杯

注：MR（Multiface Reflect）即多面反射（灯杯），后面数字表示灯杯口径（单位是1/8in），MR16的口径=16×1/8in=2in=50mm。

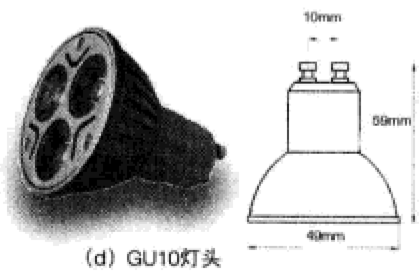
2. E27/GU10射灯　目前市场上用量较大的主要有以下型号：E27 1×1W 、E27 3×1W、 E27 5×1W 、E27 7×1W、E27 9×1W、E27 12×1W等，如图2所示。



（a）E27 1×1W

（b）E27 3×1W

（c） E27 12×1W



（d）GU10灯头

图2 部分市场上常见的E27射灯

注：GU10灯头：G表示灯头类型是插入式，U表示灯头部分呈现U字形，后面数字表示灯脚孔中心距 10mm。如图2（d）所示。
E27灯头：E表示螺纹灯头，E后面的数字表示螺纹最大外径。

3. PAR灯　PAR灯仅指采用大功率LED（单颗1W、3W、5W等）光源的灯具而需要PAR灯专用的PAR灯透镜。PAR灯系列：PAR16、PAR20、PAR30、PAR38、PAR64等。

现在市场PAR灯灯杯材质使用6063铝型材模，即AA6063（导热系数200～300W/m.k）。与常见的铝合金压铸模（导热系数175 W/ m.k）相比较， 导热系数增加40%～50%左右，利用这种更好的导热材料，可以加快LED的散热速度，减少光衰，增加LED使用寿命。表面处理工艺氧化处理（导热系数10 W/ m.k），导热系数增加100倍，大幅度增加了热

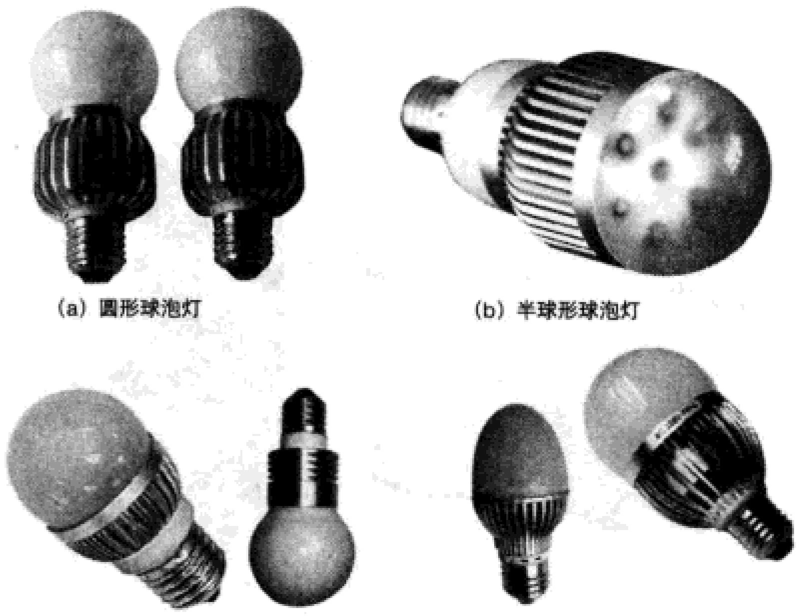
量散发到灯杯表面的速度，并能够根据不同需求氧化成不同颜色，金色、银色、蓝色等，也不会随着长时间使用后变黑。散热面积采用蜂窝结构设计，增加了更多对流孔和辐射面积，散热面积增加40%，加快热量散发到空气中的速度。市场上的部分PAR灯，如图3所示。

（a）3W PAR30灯　（b）7W PAR30灯　（c）12W PAR38（6063铝型材模）

图3 市场上的部分PAR灯

注：PAR38中的PAR（paraboloid aluminium reflector）是表示抛物面反射形，38表示最大外径尺寸，即：（1/8）×38×25.4≈120（mm）。

4. LED 球泡灯 LED 球泡灯又名 LED 球泡。LED 球泡灯采用了现有的接口方式，即螺口、插口方式（E26\E27\E14\B22等），甚至为了符合人们的使用习惯，模仿了白炽灯泡的外形。基于 LED 单向性的发光原理，设计人员在灯具结构上做了更改，使得 LED 球泡灯的配光曲线基本与白炽灯的点光源性趋同。基于 LED 的发光特性，LED 球泡灯的结构要相对白炽灯复杂，基本分为光源、驱动电路、散热装置，这些部分的共同配合才能造就低能耗、长寿命、高光效和环保的 LED 球泡灯产品。所以说 LED 照明产品在目前仍然是技术含量较高的高科技照明产品。 市场上常用的 LED 球泡灯，如图 4 所示。



（a）圆形球泡灯　（b）半球形球泡灯

（c）3W 球泡灯　（d）7W球泡灯

图4 常用的LED球泡灯

二 LED筒灯

LED筒灯是一种嵌入到天花板内光线下射式的照明灯具。 LED筒灯属于定向式照明灯具，只有它的对立面才能受光，光束角属于聚光，光线较集中，明暗对比强烈。更加突出被照物体，流明度较高，衬托出安静的环境气氛。LED筒灯特点是保持建筑装饰的整体统一与完美，不破坏灯具的设置，光源隐藏在建筑装饰内部不外露，无眩光，人的视觉效果柔和、均匀。市场上常用的LED筒灯，如图5所示。

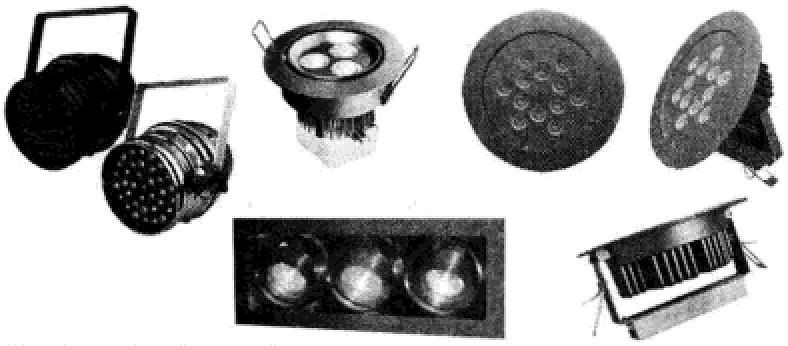


图5 市场上常见的LED筒灯

三 LED天花灯

LED天花灯系采用导热性极高的铝合金及专利结构技术设计生产的新型天花灯。 一律采用低光衰LED作为光源，以确保其长寿命、节能、高效、环保等特点。 防触电等级达到II级，电源放置在灯体外部，有窄光（15°、30°）宽光（45°、60°）配光可选，有光面透镜（强光），网纹透镜（半强光）、珠面透镜（柔光）配光方式。端子接线、安装在室内。主要适用于汽车展示、珠宝首饰、高档服饰、专业橱窗、柜台等重点照明场所，是替代传统卤钨灯和金卤灯的理想光源。市场上常见的LED天花灯，如图6所示。

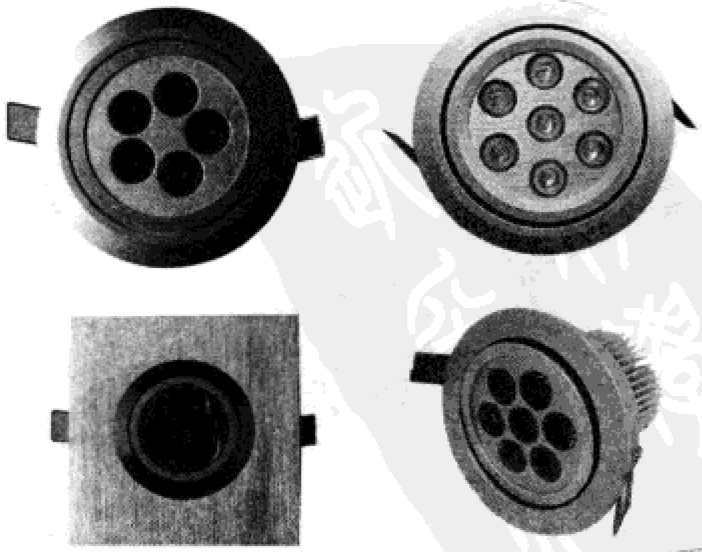


图6 市场上常见的LED天花灯

四　LED日光灯

LED日光灯采用CREE与AOD超高亮LED白光作为发光光源，外壳为亚克力/铝合金（客户定义）。外罩可用PC管制作，耐高温达135℃。LED日光灯与传统的日光灯在外形尺寸口径上都一样，长度有60cm、120cm和150cm3种，其功率分别为10W、16W和20W，而20W传统日光灯（电感镇流器）实际耗电约为53W，40W传统日光灯（电感镇流器）实际耗电约为68W。

10W的LED日光灯亮度要比传统40W日光灯还高，16W LED日光灯要比传统64W日光灯还要亮，LED日光灯的光线尤其显得更柔和更使人们容易接受。使用寿命在5～8万小时，供电电压为AC85～260V，无需起辉器和镇流器，启动快，功率小，无频闪，不容易视疲劳。它超强节能更为环保，是国家绿色节能照明工程重点开发的产品之一，是目前取代传统日光灯的主要产品。

LED日光灯安装比较简单，它分电源内置和外置两种，电源内置的LED日光灯安装时，将原有的日光灯取下换上LED日光灯，并将镇流器和启辉器去掉，让220V交流市电直接加到LED日光灯两端即可。电源外置的LED日光灯一般配有专用灯架，更换原来的就可以使用了。

LED日光灯节电高达80%以上，寿命为普通灯管的10倍以上，几乎是免维护，不存在要经常更换灯管、镇流器、启辉器的问题，大约半年下来节省的费用就可以换回成本。绿色环保型的半导体电光源，光线柔和，光谱纯，有利于工人的视力保护及身体健康，6000K的冷光源给人视觉上清凉的感受，有助于集中精神，提高效率。市场上常见的LED日光灯如图7所示。

图7 市场上常见的LED日光灯

五　LED光纤灯

光纤照明系统是由光源、反光镜、滤色片及光纤组成。当光源通过反光镜后，形成一束近似平行光。由于滤色片的作用，又将该光束变成彩色光。当光束进入光纤后，彩色光就随着光纤的路径送到预定的地方。

由于光在途中的损耗，所以光源一般都很强。常用光源为150～250W左右。而且为了获得近似平行光束，发光点应尽量小，近似于点光源。 反光镜是能否获得近似平行光束的重要因素。所以一般采用非球面反光镜。滤色片是改变光束颜色的零件。根据需要，采用调换不同颜色的滤光片就获得了相应的彩色光源。

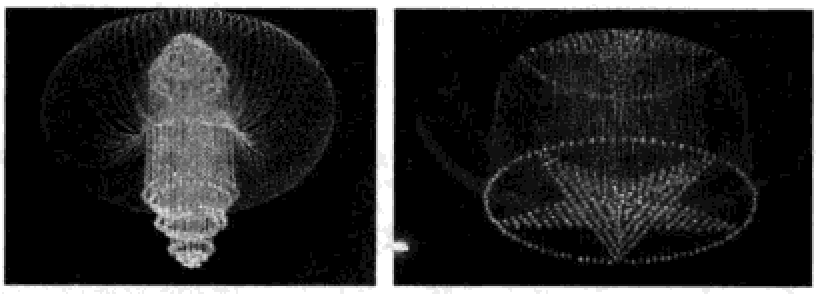


图8 市场上常见的光纤灯

六　LED台灯

光源采用大功率LED，无污染、紫外线、红外线和热辐射。采用低压恒流电源，无频闪，无眩光，照射面积广，亮度均匀，视觉效果好。其光色接近自然光，是真正的理想光源。 寿命长达50000小时。 在台灯发光部位距桌面350～400mm条件下，桌面照度可达到500 lx以上。

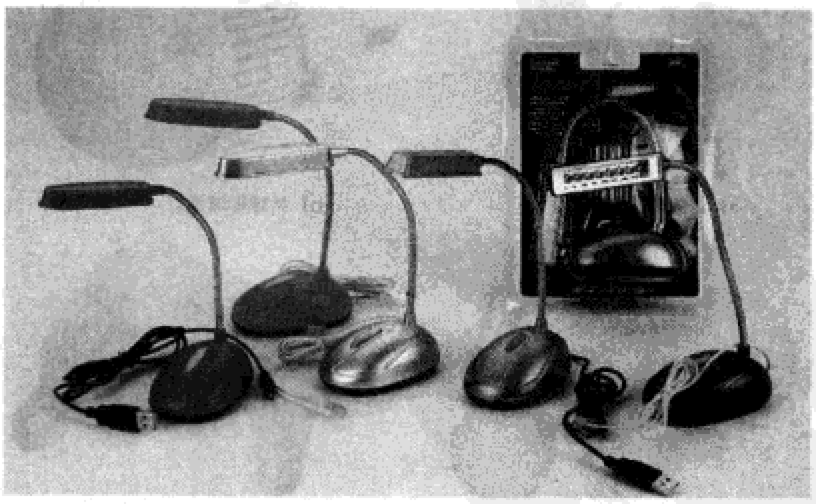


图9 市场上常见的LED台灯

◎刘祖明

认识大功率LED

大功率LED是指拥有大额定工作电流的发光二极管。普通LED的功率一般为0.05W，工作电流为20mA，而大功率LED可以达到1W、2W，甚至数十瓦，工作电流可以是几十毫安到几百毫安不等。由于目前大功率LED受到光通量、转换效率和成本等方面的制约，决定了大功率白光LED短期内的应用主要是一些特殊领域的照明，中长期目标才是通用照明。

大功率LED有“绿色照明光源”之称，具有体积小、安全低电压、寿命长、电光转换效率高、响应速度快、节能、环保等优良特性，必将取代传统的白炽灯、卤钨灯和荧光灯而成为21世纪的新一代光源。常见的大功率LED，如附图所示。

常见的大功率LED

一 大功率LED的特点

大功率LED作为照明光源具有体积小、耗电少、发热低、寿命长、响应速度快、安全低电压、耐候性好、方向性好等优点。

◆使用寿命：大功率LED路灯使用寿命超过50 000小时。

◆节能：光效为75lm/W的LED较相等亮度的白炽灯耗电量减少80%；比高压钠灯节电80%以上。

◆绿色环保：大功率LED路灯不含铅、汞等污染元素，对环境没有任何污染。

◆安全：耐冲击，抗震力强，LED发的光在可见光范围内，无紫外线（UV）和红外（IR）辐射。LED日光灯无灯丝和玻璃外壳，没有传统灯管碎裂的问题，对人体无伤害、无辐射。无高压，不吸灰尘。消除了普通路灯因高压吸收灰尘导致灯罩发黑引起的亮度降低。

◆无高温，灯罩不会老化发黄：消除了普通路灯因高温烘烤灯罩使其老化发黄引起的亮度降低和寿命的缩短；

◆启动无延时。纳秒级的响应速度，使亮度和色彩的动态控制更加容易，可实现色彩的动态变化和数字化控制，通电即达正常亮度，消除了传统路灯长时间的启动过程。

◆无频闪：纯直流工作，消除了传统路灯频闪引起的视觉疲劳。

◆无不良眩光：消除普通路灯的不良眩光所引起的刺眼、视觉疲劳与视线干扰，提高驾驶的安全性，减少交通事故的发生。

◆柔性化好：LED光源的精巧，使LED灯能适应各种几何尺寸和不同空间大小的装饰照明要求，诸如：点、线、面、球、异形式，乃至任意艺术造型的灯光雕塑。

◆色彩纯厚：由半导体PN结自身产生色彩，纯正，浓厚；色彩丰富——三基色加数码技术，可演变任意色彩。

◆设计空间大：与建筑可以有机地融合，达到只见光不见灯的效果。

二 大功率LED的应用范围

大功率LED在油田、石化、铁路、矿山、部队等特殊行业、舞台装饰、城市景观照明、显示屏以及体育场馆等，特种工作灯具中具有广泛的应用前景。

三 发光二极管的工作原理

发光二极管主要由PN结芯片、电极和光学等系统组成，它的基本工作原理是一个电光转换的过程，当一个正向偏压施加于PN结两端，由于PN结势垒的降低，P区的正电荷将向N区扩散，N区的电子也向P区扩散，同时在两个区域形成非平衡电荷的积累。由于电流注入产生的少数载流子相对不稳定，注入到价带中的非平衡空穴要与导带中的电子复合，其中多余的能量将以光的形式向外辐射，电子和空穴的能量差越大，产生的光子能量就越高。能量级差大小不同，产生光的频率和波长就不同，相应的光的颜色就会不同。

◎刘祖明

大功率LED明星秀

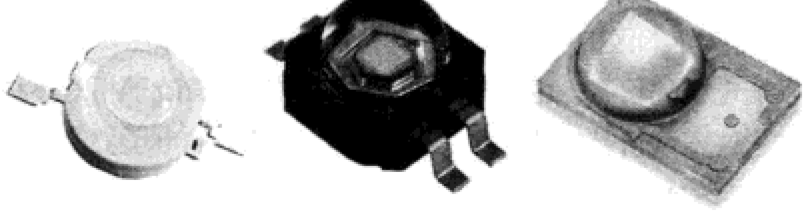
从1962年第一只LED问世至今的40多年的时间里，LED的封装形态发生了多次的演变。从20世纪60年代的玻壳封装，到70年代的环氧树脂封装，到90年代中后期的四脚食人鱼封装、贴片式SMD封装、大功率封装、芯片阵列式COB封装等，每一次都是因应用领域的拓展和封装技术的进步而改变。近年来出现的大功率LED，更是由于其在半导体照明应用中的重要地位，在短短的几年里封装形态已发生了多次的变化，让人眼花缭乱。在半导体照明产业已经起步并开始进入快速发展的今天，大功率LED将会有什么新的封装形态？下面将分析各种大功率LED的主要封装形态的特点，以及照明应用对LED光源的需求，从中探究其今后的发展趋势。国内的大功率LED封装起步相对较晚，主要走两条路线：一是分立器件跟随模仿国外大公司的产品封装形式，二是根据照明应用的实际需求做个性化的集成封装。

Philips Lumileds照明公司

1. 最早的大功率LED封装形式是Luxeon Emitter系列，其结构特点是金属塑料支架加上独立的热沉材料为基座，外加PC材料的光学透镜，中空以柔性光学硅胶灌封，管体直径为8.0mm。PC材料的透镜耐温较低（＜150℃），Emitter在应用安装时不能使用回流焊，焊接工艺要求高，安装效率较低，由于透镜是外加的，使用时容易脱落，透镜与中空灌封的硅胶之间的结合界面容易形成隔层，从而影响光效。

2. Luxeon K2的结构特点是金属塑料支架加上独立的热沉材料为基座，光学透镜用软硅胶整体模造而成，管体尺寸为7.3mm×7.3mm。由于封装方案在Emitter的基础上作了多方面的改进，结温耐受能力提高到185℃，应用安装可使用回流炉焊接，但软硅胶透镜对芯片及引线保护不足，容易因外力的作用而受损，软硅胶透镜易粘灰尘，不适宜外露使用，应用配光可选择方案较少。

3. Rebel的结构特点是在有独立热沉材料的陶瓷基板上，直接模造软硅胶光学透镜，管体基板尺寸为3.2mm×4.5mm。结温耐受能力为150℃，可使用SMT安装和回流炉焊接，但由于使用软硅胶模造光学透镜，在应用上同样存在K2的弱点。



（a）Luxeon Emitter系列 （b）Luxeon K2的结构 （c）Rebel的结构

图1

美国Cree（科锐）公司

1. XP-G的封装形式，是目前CREE推出的单核光效最高的LED，特点：有5条金线，发光体是单核心里最大的，布满整个透镜。常见的有 R4、R5,目前R5光效最高，350mA电流下有139lm，1A电流可达370lm。不久将会有比R5更高的S2。

2. MCE是CREE的多核心大功率LED，既可以并联驱动也可以串联驱动。分为M、K、J档，其中M档光效最高，在350mA下能达到430lm。K档次之，350mA下能达到370lm，J档是暖白光系列。

3. XR-E的封装形式，特点是LED外有一个金属环，可能这就是名字的由来吧。RING这种封装目前光效最高的上限是XR-E R2，350mA 下114～122lm，1A下有256～274lm。

（a）XP-G （b）MCE

（c）XR-E大核心 （d）XR-E小核心

图2

日本Nichia（日亚化学）公司

早期曾推出7.2mm×7.2mm的金属塑料支架+PC光学透镜+中空柔性光学硅胶灌封的产品形式，近期主推小尺寸的（主要是3.5mm×3.5mm、5.0mm×6.0mm）金属/陶瓷支架+硅胶灌封/模造光学透镜的大功率LED封装产品形式。

Nichia的主要产品为小功率多晶封装的LED，并联多颗小功率LED芯片在PLCC封装体上。由于每一个小芯片所分配到的电流极小，可以达到高光效以及不需要太多散热的优点。

Nichia在去年所推出083规格也是不少LED灯具厂商的偏好规格。以目前主流083B为例，在300mA下以3.3V驱动，发光效率可以达到100Lm/W。

（a）六芯串联LED （b）高效率正面发光型LED （c）3合1贴片LED

图4

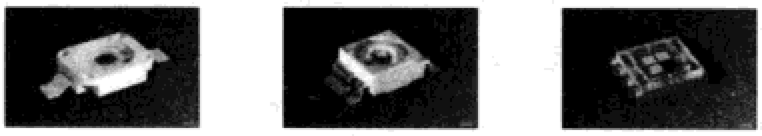
德国Osram（欧司朗）公司

一直以TOP SMD形式封装大功率LED，主打产品为7.0mm×6.0mm的金属塑料支架灌封硅胶的Golden Dragon。

1. 单芯片表贴式封装是目前大功率LED封装技术中应用最多的,由于其成熟的工艺技术,其主要优势在于光效高、易于散热、容易配光、可靠性高。欧司朗光电半导体最早推出“TOPLED”是一款经典的表贴式LED，广泛应用汽车照明等各个领域，并经过多年的改进，升级到了Advanced Power TOP LED Plus，这是Osram新推出的一款功率在0.5W左右的LED。该款新型LED专为建筑和商业照明而设计，发光效率高达90lm/W，封装结实耐用，尤其适用于空间紧凑但又需要极高亮度的照明应用。而且还有从2700K到6500K的不同色温可供选择，从暖白光到冷白光一应俱全，可满足轮廓照明、条形照明和表面照明应用的各种需求。

2. DRAGON系列LED是目前最为流行的1W级别的大功率LED，该系列中的Golden DRAGON Plus LED，采用硅胶封装，其封装外型及内部简要结构如图3所示。该LED具有170度的光束角，能非常理想地配合二次光学透镜或反光杯，其硅胶透镜有着耐高温及低衰减的特性。独特的封装设计进一步提升了LED的散热性能，使产品的热阻控制在6.5℃/W左右,是目前同类产品中热阻最低的LED之一；而且，荧光粉的特定配制使LED的色温覆盖了冷白、中性白和暖白范围，广泛地应用于室内外各种照明应用场合。

3. OSTAR SMT LED。多芯片集成器件是目前大功率LED器件最为常见的另一种封装形式。可以分为小功率芯片集成器件和大功率芯片集成器件两类。前者以多颗低功率芯片集成的1W大功率LED器件最为典型,这一类器件的主要优势在于成本较低，是目前国内大功率器件的主要制作途径。大功率芯片集成以OSTARSMT系列为代表，其封装外型如图4所示，通过优化设计，可以使最终产品的热阻控制在3.1℃/W，同时可以驱动高达15W的高功率。该封装的优势在于在很小的空间内达到很高的光通量。



（a）Golden DRAGON Plus LED （b）APT PLUS （c）OSTAR SMT LED

图3

韩国 Seoul Semiconductor（首尔半导体）公司

主打产品与Luxeon系列类似，近期也推出小型化的平面贴装类大功率LED。

1. 超亮Z-Power P7系列LED，亮度为900lm、发光效率高达90lm/W，现已开始量产。Z-Power P7由4个LED芯片封装而成。在10W条件下，亮度可高达900lm，首尔半导体并没有提供900lm测量结果中的电流数值。可广泛应用于住宅照明、道路照明，还可用作各种工作灯、优质手电筒，以及高亮野外照明灯具。

2. Z-POWER LED Z2 系列在350mA可以发出300lm的光.照明用高亮度 Z-POWER LED Z2的 1.2mm的厚度、陶瓷体和宽大的散热板的特点有益于散热。

3. Z-Power LED P4系列是首尔半导体自身的荧光体技术及成套技术力来组合而成，更高的光效率及提高可信的亮度，只用一块芯片来达到最高的发光效率(100lm/W)，并为此自豪的产品。同时，P4还可以认可1A的电流其亮度达到240lm。

（a）Z-Power P7系列 （b）Z-POWER LED Z2 系列 （c）Z-Power LED P4系列

图5

◎刘祖明

动手组装大功率LED灯

LED射灯就是用发光二极管作为光源的射灯。传统射灯多采用卤素灯，发光效率较低比较耗电，使被照射环境的温度上升，使用寿命短。LED在发光原理、节能、环保的层面上都远远优于传统照明产品。而且LED发光的单向性形成了对射灯配光的完美支持。

射灯是一种安装在较小空间中的照明灯，如在床头、屋角、柜子内都可以使用。它的优点之一是节省能源，由于它是依靠反射作用来增加亮度的，所以只耗费很少的电能就可以产生很强的光。其二是光线非常集中，可以用来突出室内某一块地方的装饰，还可以增加立体感。其三是光线比较柔和，接近于日光，所以不会对人的眼睛产生刺激。最后一条是可以利用射灯作出不同的光线造型，给室内增添一种装饰感。

射灯基本上可以分为两类，一类叫做下照射灯，它只用于照明，所以光线不会太亮，一般安装在比较隐蔽的空间，如天花板下、床头、门厅、走廊等处。下照射灯按造型不同可以分为全藏式和半藏式两种。它的特点是光线比较集中、柔和，造型多变，功能多样，它还可以用做烘托其他装饰物之用。如电视机旁可装一盏既可照明又不会影响看电视的射灯，在画像的上方装一盏可以突出装饰物的造型，吸引人们目光的射灯。第二类叫做路轨射灯，它的特点是颜色和造型多变。大多数路轨射灯都是以金属或者陶瓷作为原材料，所以颜色上的变化可以丰富一些，有纯白，金色，银色，黑色等等。它可以安装的地方也很多，比如画像的上方，花房，甚至椅背后面都可以，可以创造出奇特的效果。下面主要介绍MR16 LED射灯的组装。

一　组装工具与辅助材料的介绍

1. 组装工具

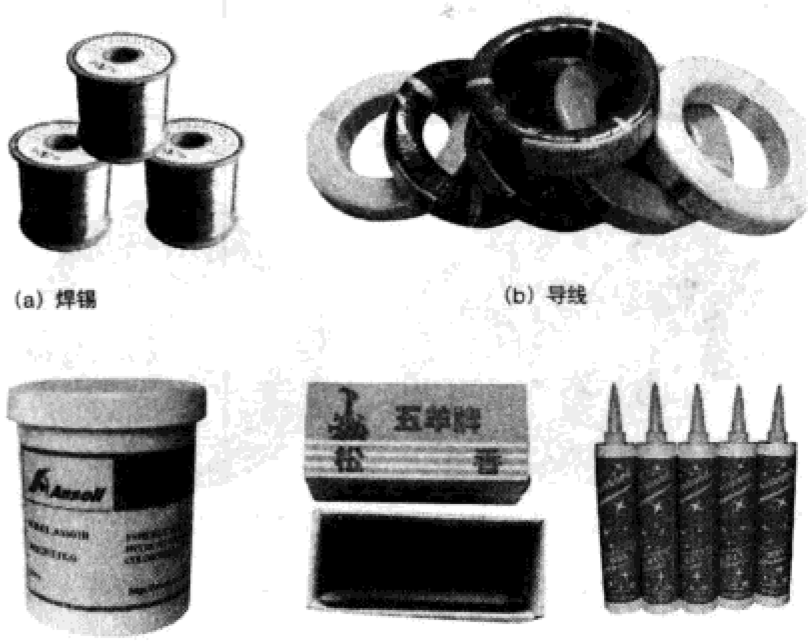
常用的组装工具如图1所示，下面对组装工具的功能进行简单的说明。

- 焊台用来焊接元器件或导线。
- 镊子是手机维修中经常使用的工具，常用它夹持导线、元件及集成电路引脚等。
- 斜口钳主要用于剪切导线、元器件多余的引线，还常用来代替一般剪刀剪切绝缘套管、尼龙扎线卡等。
- 十字螺丝刀是一种用来拧转螺丝钉以迫使其就位的工具。
- 万用表是一种多功能、多量程的测量仪表，一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和音频电平等，有的还可以测试电路是开路、短路，测试大功率LED是否正常工作。
- 可调电源用来测试大功率LED正负极性及好坏或测试MR16灯杯3×1W工作是否正常。

(a) 焊台　(b) 防静电镊子　(c) 斜口钳　(d) 十字螺钉旋具　(e) 数字万用表　(f) 可调电源　(g) 热风枪

图1 组装工具

2. 辅助材料 如图2所示。



(a) 焊锡　(b) 导线　(c) 散热硅脂　(d) 松香　(e) 有机硅胶（189）

图2 辅助材料

二 MR16灯杯3×1W的组装流程

1. MR16灯杯3×1W的主要部件

MR16灯杯3×1W的主要部件如图3所示。

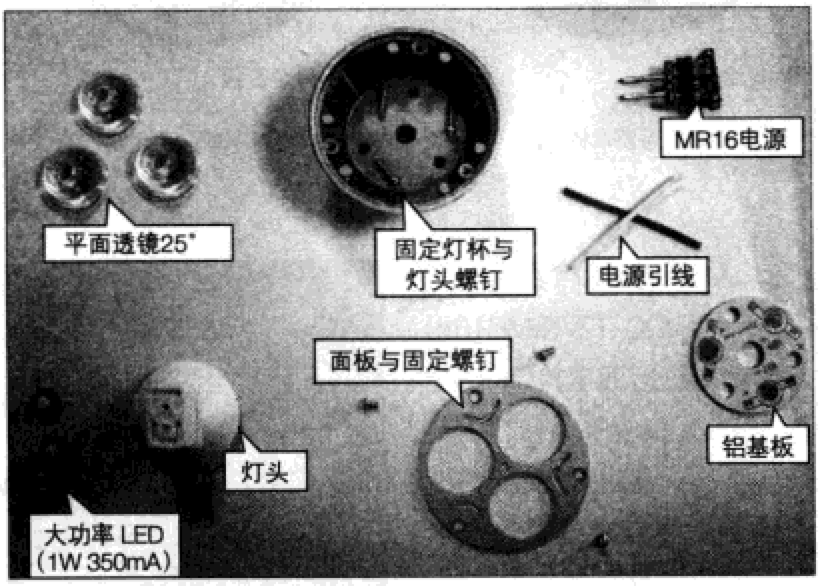


图3 MR16灯杯3×1W的主要部件

2. MR16灯杯3×1W的组装流程

(1) 外观检查

目测灯杯、面板、透镜、灯头外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形等不良现象，取一套样品进行试装，以确认各配件的螺钉孔大小、位置是否合适，目测线路（铝基板）、LED极性是否标志清楚，铜箔有无鼓起，用数字万用表测试其是否有开路、短路，核对大功率LED发光颜色、色温、封装是否与所需一致，LED灯表面有无刮伤，焊接引脚上锡是否光亮，电源尺寸大小是否与灯头相配合，若配合正常，可加负载通电确认电源标志参数与实际是否一致。3颗长螺钉、3颗平头螺钉是否与螺钉孔大小配合，棕/白两根约6cm长的电源引线是否适中。

(2) 铝基板涂散热硅脂

取导热硅脂均匀涂在铝基板标志的LED灯对应位置上（应涂在铝基板所标志LED封装的中心圆上），如图4所示。

(3) 铝基板上焊接 LED

取3个 LED按正、负极与铝基板上所标示的“+/−”位置进行焊接。在铝基板的其中一个极点上涂少量焊锡，然后将LED同极性端（如正极性）与预先点好焊锡端进行焊接，再将LED的另一端焊接在铝基板上。焊好的铝基板如图5所示。

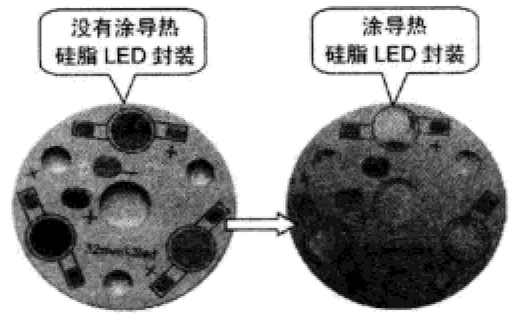


图4 涂好导热硅脂铝基板

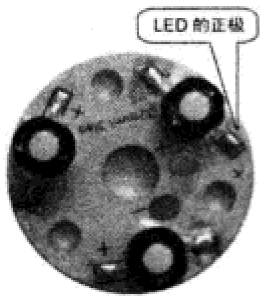


图5 焊好LED的铝基板

注：要求焊点饱满，没有虚焊、假焊、短路的现象，LED焊接位置正确，焊接时必须配带防静电环。

(4) 铝基板焊接引线并通电测试

用斜口钳将棕/白两根电源引线的线头剥开约0.2~0.4cm，对已剥开的线头进行上锡处理，将上锡后的棕色引线焊接在铝基板的“+”端，白色引线焊接在铝基板的“−”端。如图6所示。通电测试3颗1W串联LED发光是否正常，如图7所示。

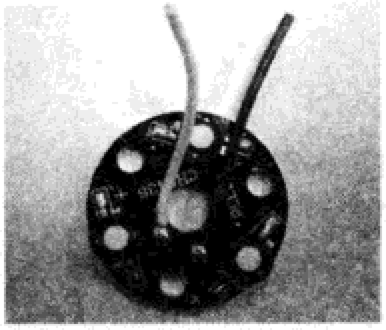


图6 焊接好的电源引线铝基板

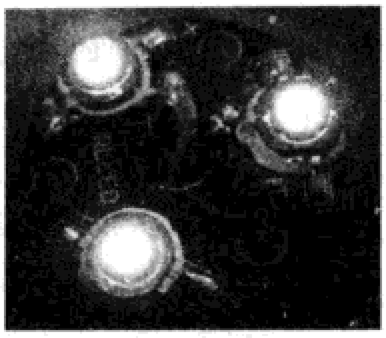


图7 通电测试3颗1W串联LED

注：直流可调稳压电源调至恒流输出9V，并将其表笔按正、负极接已焊灯珠的MR16半成品电源引线末端进行通电，检测铝基板上的LED灯，全亮为合格。若发现不亮，需对铝基板、LED灯及焊接点检查，并针对不良项进行修理。

（5）灯杯打胶及固定铝基板

将灯杯内侧底部均匀涂上导热硅脂，如图8所示。将棕/白两根电源引线从灯杯中心孔中穿过，并使铝基板与灯杯相结合，铝基板与灯杯的3个螺丝孔位置正对，如图9所示。

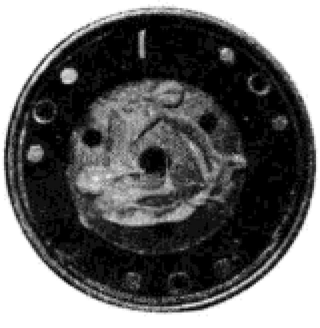


图8 涂上导热硅脂

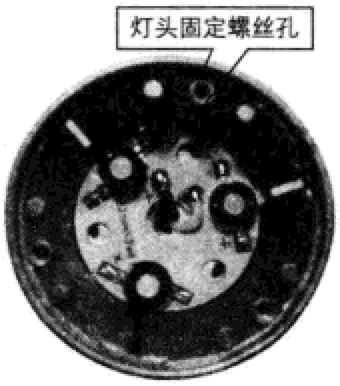


图9 固定铝基板

（6）铝基板引出线与电源的连接

将电源引线还没焊接的一端与MR16电源输出端进行连接，棕色引线接MR16电源标有“+”符号的位置，另一根引线接MR16电源标有“−”符号的位置，如图10所示。

（7）组装灯头

先在灯头内涂上适量的189胶，然后插入MR16电源，使电源两引脚从灯头后部孔中穿出，如图11所示。

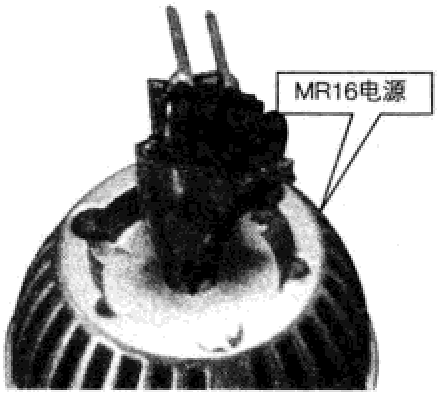


图10 电源的连接

图11组装灯头

注：MR16电源插针上的189胶要擦干净，防止在工作时接触不良。

（8）用螺丝固定灯头、灯杯

将灯头3个螺丝导柱对准灯杯底部的3个孔径插进。在螺丝孔位置用3颗长螺丝固定灯头和灯杯，如图12所示。

（9）组装透镜

将透镜内凹陷处对准LED灯头分别平放，如图13所示。

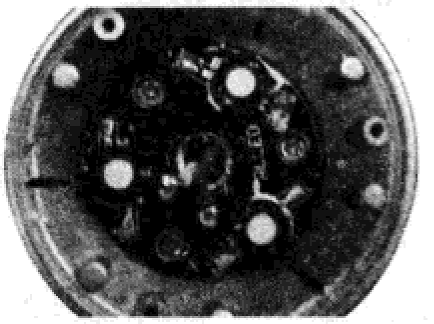


图12 螺丝固定灯头、灯杯

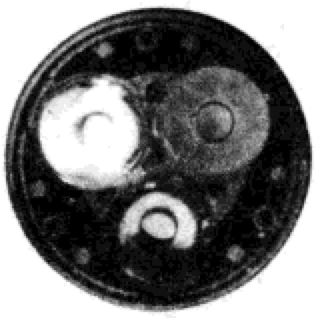


图13 组装透镜

注：拧紧螺丝时要掌握力度。透镜安装时要戴白手套，保证镜面干净。

（10）组装面板、固定面板

将面板平放在灯杯表面，压住透镜边缘，且确保面板螺钉孔与灯杯的螺丝孔对正，如图14所示。在螺丝孔位用3颗平头螺丝固定面板，如图15所示。

图14 组装面板

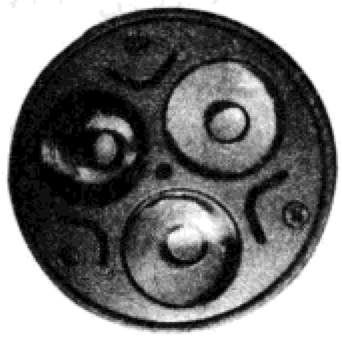


图15 固定面板

注：拧紧螺丝时要掌握力度，装好面板螺钉后，透镜不能压的太紧，可以有晃动的现象。

（11）通电检验

用AC/DC 12V接MR16射灯两引脚进行通电检测，3个1W 串联 LED全亮为合格。若发现不亮，需对MR16射灯进行检查，并针对不良项作修理，如图16所示。

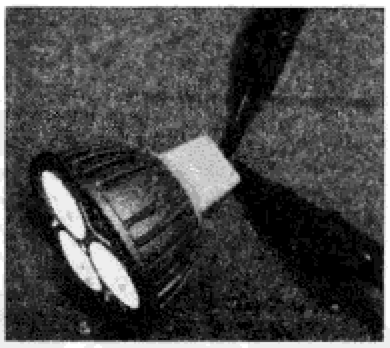


图16 通电检验

（12）全检

检验螺丝松紧、灯杯及面板是否牢固、外观有无残缺，确保成品表面干净，无异物。到此，MR16 3×1W灯杯的组装就介绍完了。

◎刘祖明

大功率LED驱动电路集锦

本文接下来介绍一些常见的大功率LED驱动电路。

一 MR16射灯驱动电路

MR16灯杯驱动电源的生产厂家众多，设计者可以从互联网查到相关的技术资料。这里主要介绍市场上比较常用的MR16灯杯驱动芯片PT4115。

1. PT4115简介

（1）PT4115 芯片的特性

◎ 高度集成DC/DC—Buck→Constant Current 功能。

◎ 采用抖频技术有效降低EMI。

注：频率抖动技术（Frequency Jitter）是一种从分散谐波干扰能量着手，解决EMI问题的新方法。频率抖动技术是指开关电源的工作频率并非固定不变，而是周期性地由窄带变为宽带的方式来降低EMI，减小电磁干扰的方法。

◎ U_{in}＝8～30V，击穿电压>45V；I_{out}＝1.2A。

◎ 效率高达97%。

◎ DIM由高向低调光，安全可靠。

◎ 超低的关断电流。

◎ ±5%输出电流精度。

◎ LED开路保护。

◎ 采用SOT89—5封装，有利于驱动芯片管芯的快速散热。

◎ 周边应用电路简约，仅4个元器件，应用成本低。

（2）PT4115 芯片的引脚功能

◎ SW：功率开关的漏端。

◎ GND：信号和功率地。

◎ DIM：开关使能、模拟和PWM调光端。

◎ CSN：电流采样端，采样电阻接在CSN和VIN端之间。

◎ VIN：电源输入端，必须就近接旁路电容。

◎ Exposed PAD散热端，内部接地，贴在PCB板上减小热阻。

2. PT4115应用特点

◎ 电感越大、工作频率越低，恒流效果越好。

◎ 输出电流越大，需要电感值越小，电感选择比较方便。

◎ 输出电压越高，效率越高，3颗1W串联比1颗3W效率要高。

◎ 系统损耗由RS损耗（$0.1 \times I_{out}$）、电感DCR损耗（$DCR \times I^2_{out}$）、功率开关导通损耗（$R_{SW} \times I^2_{out}$）、功率开关的开关损耗（正比于开关频率）等主要部分组成。

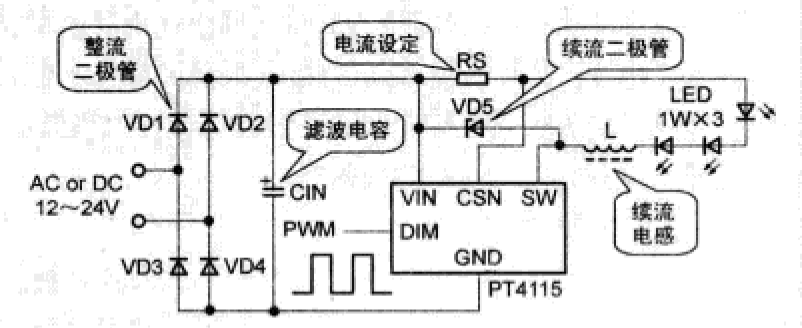
◎ 通常电感越大，功率开关的开关损耗越小，但是DCR会变大，对应电感损耗变大。

◎ 反馈电压100mV，R_S损耗业界最小，功率开关导通电阻R_{SW}为0.6Ω，也比较小，效率比一般产品高。

◎ 内部含有过温保护功能，外部可以设计过温保护，对LED有双重保护。

◎ 采用SOT89—5封装，热阻仅为45℃/W，散热特性很好。

3. PT4115应用电路



(b) 应用电路

图1 PT4115应用电路

表1 PT4115应用电路外部元器件选择条件及BOM表 （a）PT4115应用电路外部元器件选择条件

RS	精度大于1%	R_S=0.1/I_{LED}，比如要输出350 mA，则R=0.1/0.35=0.2857（Ω）
Cin	100μF（工作电压>50V）	输出电流小于400mA
	100μF（工作电压>50V）	输出电流大于400mA
	有续流储能和滤波的功能，电容量不宜太小	
D	SS14	输出电流小于400mA
	SS24	输出电流大于400mA
	导通压降低于0.30V的肖特基二极管，可以提高系统效率	
L	33～47μH（饱和电流>1.8A）	输出电流在800mA到1200mA
	47～68μH（饱和电流>1.2A）	输出电流在400mA到800mA
	68～100μH（饱和电流>0.6A）	输出电流小于400mA
	DCR越小，效率越高。选用EPC13锰锌4000磁芯。选用额定电流大于工作电流的1～1.5倍	
整流二极管	正向压降尽可能低的肖特基二极管，可有效地降低系统功耗	
	电流能力一定要满足应用，原则上大于$1.5 \times I_{out} \times V_{out}/(0.8 \times V_{in})$	

(b) BOM表

序号	元件号	参数	描述	数量	描述
1	VD1~VD4	SS14	肖特基二极管	4	ONMESI
2	CIN	100μF/25V	电解电容	1	宏一
3	RS	0.27Ω/0.1W (350mA) 0.13Ω/0.1W (700mA)	金属膜电阻	1	SAMSUNG
4	VD5	SS14/SS16	肖特基二极管	1	ONMESI
5	IC	PT4115	恒流源芯片	1	华润矽威

注：(1) 驱动芯片的封装应有利于驱动芯片管芯的快速散热。如将管芯(Die)直接绑定在铜板上，并有一Pin直接延伸到封装外，便于直接焊接在PCB的铜箔上迅速导热。如在一个类似1.5mm×1.2mm的硅片管芯上，长时间通过300~1000mA的电流，必然有功耗，必然会发热，芯片 PT4115本身的物理散热结构也是至关重要的。
(2) DIM端内部是一个200kΩ上拉电阻(Rup)接到内部5V电源。DIM端的电压由Rup和NTC分压决定，利用模拟调光的原理以及温度对LED电流的负反馈实现动态温度控制。NTC也可以由二极管来实现，或者二极管串联热敏电阻等方法。

驱动3颗1W串联白光LED 的电路原理图，如图1所示。BOM表，如表1(b)所示。它是12~24V电压范围里交直流两用的，VD1~VD4组成整流桥，这个桥有两个功能，若输入是交流电源，把交流整流成直流，若输入是直流电源，起极性转换作用。无论输入电源的极性如何，都能保证电路正常工作。CIN是滤波电容，把脉动直流变换成平滑的直流。R_S是取样电阻，它决定恒流源的绝对精度。L把100kHz的脉冲电流变换成三角波电流，它的电感量会影响工作电压范围内恒流源的稳定性。VD5是续流二极管，在芯片内部MOS管处于截止状态时为储存在电感中的电流提供放电回路。由于工作在高频脉冲状态，VD5应选用正向压降小，恢复速度快的肖特基二极管。芯片的DIM端可外接PWM脉冲或直流电压调光，也可以接热敏电阻作辅助温度控制和自动亮度控制。如果不使用这些功能，则DIM端口悬空。

(1) 整流二极管的选择

目前市场上MR16射灯的最大输出电流通常设置为350 ~ 900mA。由于MR16 的驱动板空间有限，通常建议选用体积小、导通压降低的肖特基二极管(1A,40V)搭建整流桥，推荐型号为 MBRS140，其封装体积较小，300mV 左右的导通压降有利于最大可能的提高转换效率。但是如果输入、输出压差超过 8 ~ 10V 以上，从散热的角度以及保证系统能够长时间稳定工作的方面考虑，则应选择体积稍大、散热条件较好的 SS14 产品，SS14 在成本方面也有优势，但是其导通压降在 500mV 左右。成本和转换效率就看您如何取舍了。

为了保证最大的效率及优良的性能，二极管应选择快速恢复、低正向压降、低寄生电容、低漏电的肖特基二极管，电流能力以及耐压视具体的应用而定，但应保持30%的余量，有助于稳定可靠地工作。

另外值得注意的是应考虑温度高于85℃时肖特基的反向漏电流。过高的漏电会导致系统的功率耗散增加。 AC12V整流二极管一定要选用低压降的肖特基二极管，以降低自身功率耗散。

(2) 电感L的选择

电感是这个电路中的关键元件，从原理上讲，电感量越大，恒流精度越高。例如用47μH的电感，输入电压在8~30V范围里变化，恒流精度是30%；如果用220μH的电感，恒流精度就能提高到9%以下。影响电感质量的重要因素是磁性材料，建议采用锰锌4000，居里点400的磁性材料。磁性电感的最大缺点是很容易产生磁饱和，这在用户的设计中经常发生。一旦发生磁饱和后果往往是灾难性的，会瞬间烧坏芯片或LED。因而，推荐按表1(a)数值选择电感，尤其注意电感的饱和电流应不小于表1(a)中的值。一般饱和电流小的电感铜线较细，Q值也较小，这种电感即使没发生磁饱和稳流效果也会很差。

PT4115推荐使用的电感参数范围为27~100μH。电感的饱和电流必须比输出电流要高出30%~50%。LED输出电流越小，建议采用的电感值越大。在电流能力满足要求的前提下，如果电感取得大一些，恒流的效果会更好一些。电感器在布板时请尽量靠近VIN和SW，以避免寄生电阻所造成的效率损失。

(3) 旁路电容

在电源输入端必须就近接一个低等效串联电阻(ESR)的旁路电容，ESR越大，效率损失会变大。该旁路电容要能承受较大的峰值电流，并能使电源的输入电流平均，减小对输入电源的冲击。直流输入时，该旁路电容的最小值为4.7μF，在交流输入或低电压输入，旁路电容需要100μF的钽电容或类似电容。该旁路电容要尽可能靠近芯片的输入引脚。

(4) IC过热保护(TSD)

PT4115内部设置了过温保护功能(TSD)，以保证系统稳定可靠地工作。当IC芯片温度超出160℃，IC即会进入TSD保护状态并停止电流输出，而当温度低于140℃时，IC即会重新恢复至工作状态。

(5) 负载电流的热补偿

高亮度LED有时需要提供温度补偿电流以保证可靠稳定地工作，这些LED通常被设计在驱动板之外。PT4115的内部温度补偿电路已将输出电流达到尽可能的稳定。PT4115还可以通过DIM引脚外接热敏电阻(NTC)或者二极管(负温度系数)到LED附近，检测LED温度动态调节LED电流以保护LED。随着温度升高，DIM端电压降低，从而降低LED输出电流，实现系统的温度补偿。

(6) 设计PCB的注意事项

PT4115是工作在几百千赫高频下的功率器件，PCB设计要注意电流容量，散热和EMI三项事宜。首先要注意PCB上的铜箔厚度与过孔的直径和数量。推荐按照2.5A/cm²的规范设计电流回路的有效截面积，因而VD1～VD4、RS、LED、L、SW、VD5这些节点的PCB铜箔宽度不小于3mm，并镀锡加筋，金属化过孔的过孔直径不小于0.3mm，采用4孔并联，用焊锡填充。MR16射灯的灯座中，空间小，散热条件差，要挖掘一切潜力保证散热。芯片的Exposed pad要可靠地焊接在PCB 铺铜上减小热阻，协助散热，双面地铺铜总面积不应小于180mm²，并且用多个金属化过孔连接起来。当输入功率减去输出功率大于1.5W时，不适于安装在MR16灯座中。PT4115的开关频率在1MHz以下，芯片在扩频模式下工作，设计中已经考虑到EMI，PCB设计中用滤波和屏蔽手段可进一步减小EMI。

合理的PCB布局对于最大程度保证系统稳定性及低噪声十分重要。使用多层PCB板是避免噪声干扰的一种很有效的办法。为了有效减小电流回路的噪声，输入旁路电容应当另行接地。PCB铜箔与PT4115的散热PAD和GND的接触面积要尽可能大，以利散热。

SW端处在快速开关的节点，所以PCB走线应当尽可能的短，另外芯片的GND端应保持良好接地。

电感、电流采样电阻布板中要注意的是电感应距离相应管脚尽可能的近一些，否则会影响整个系统的效率。另外一个需要注意的事项是尽量减小RS两端走线引起的寄生电阻，以保证采样电流的准确。

（7）注意事项

PT4115是采用40V的CMOS工艺制造的，电子功率器件要安全可靠地工作，必须留有足够的冗余度，如果没有良好的散热条件，不推荐在高于AC 25V和DC 30V及电源电压波动大于12%的环境中使用。

二 E27/G10射灯驱动电路

E27/G10 射灯包括 PAR LED 灯、球泡灯、蜡烛灯等。

SN3910是一款峰值电流检测降压型LED驱动器，工作在恒定关断时间模式。它允许电压源范围从DC8～450V或AC 110V/220V驱动高亮度LED。

SN3910可以根据PWM信号调整LED亮度，可以接受的PWM控制信号占空比为0～100%。它还包括一个50～240mV线性调光输入，可用于LED电流线性调整和温度补偿。

SN3910采用峰值电流模式控制，该控制器不需要任何环路补偿，即能取得良好的输出电流调节。PWM调光的反应时间由电感电流的上升和下降速率决定的，从而有非常短的上升和下降时间。

1. SN3910的特点

宽输入电压范围：从DC 8～450V或AC 110V/220V。输出电流可达1A。具有温度补偿功能和恒定关断时间模式。采用线性和PWM调光，只需极少的外围器件。

2. 典型应用电路

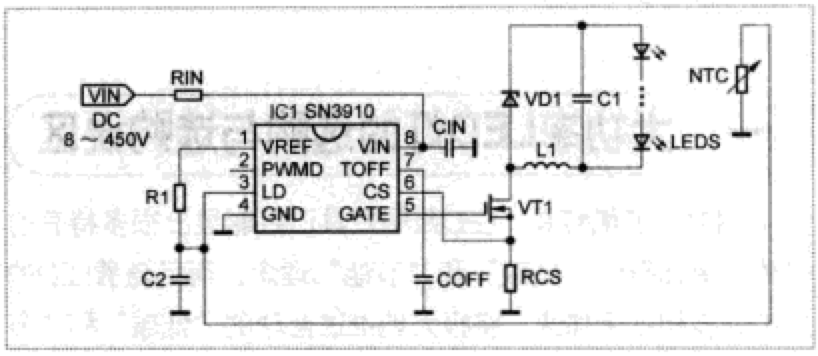


图2 SN3910典型应用电路

3. 3W 350mA电源的设计

电路原理图，如图3所示，现在主要列出3W 350mA电源参数，如表2所示。

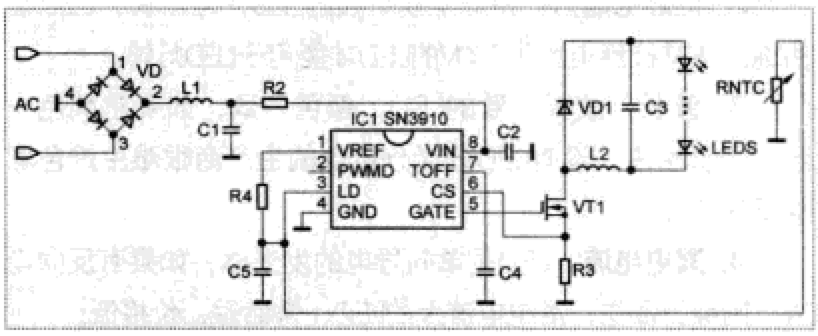


图3 3W 350mA电源原理图

表2 3W 350mA电源BOM表

序号	元件号	参数	数量	描述	参考价格（元）
1	VD	600V 0.5A	1	MB6	0.5
2	C1	4.7μF 400V	1	电解电容	0.1
3	R2	300kΩ	1	1W	0.01
4	C2	10μF 40V	1	0805贴片电容	0.01
5	C4	820 pF	1	0603贴片电容	0.01
6	L2	1.5mH	1	CoilcraftRFB1010-152L	0.9
7	VD1	600V 1A	1	ES1J 快速恢复二极管	0.8
8	R3	0.51Ω (350 mA)	1	0805贴片电阻	0.07
9	VT1	600V 4A	1	NMOS 4N60 贴片封装	2.0
10	C3	1μF	1	0805贴片电容（可选）	0.01
11	R4	82kΩ	1	温度补偿点 70 度电阻(可选)	0.01
12	R_{NTC}	100kΩ	1	热敏电阻	0.23
13	C5	0.1μF			0.01
14	IC1		1	SN3910	3.00

注：（1）对于不同负载，Coff电容取值也不同，同时对Rcs作相应调整，设计PCB不要调整，输出电流都为350mA。

负载 3.5～10.5V；1～2LEDs串联	910pF
负载10.5～24V；3～6LEDs串联	820pF
负载24.5～45.5V；7～13LEDs串联	680pF

（2）在整流桥正端和 C1 之间可串联一个小电感 L1（22μH），可抑制差模干扰

（3）若不使用温度补偿功能，请去掉 R4、C5、RNTC，将 LD 引脚接到 PWMD 上。

◎刘祖明

LED灯具选购指南

一 大功率LED灯的选购与选购误区

相对于节能灯具，LED照明灯具已经彰显出很多特有的优势，更加符合“低碳”和“节能”理念，而且随着LED的技术进步和应用加速，将极大地推进全球的“低碳”和“节能”进程。随着一哄而上的市场，作为消费者，选用LED依然要冷静，科学地分析，选用性价比最好的光源和灯具，下面介绍大功率LED的选购的基本性能：

1. 亮度：LED的亮度不同，价格不同。用于LED灯具的LED应符合雷射等级Ⅰ类标准。

2. 抗静电能力：抗静电能力强的LED，寿命长，因而价格高。通常抗静电大于700V的LED才能用于LED灯饰。

3. 波长：波长一致的LED，颜色一致，如要求颜色一致，则价格高。没有LED分光分色仪的生产商很难生产色彩纯正的产品。

4. 漏电电流：LED是单向导电的发光体，如果有反向电流，则称为漏电，漏电电流大的LED，寿命短，价格低。

5. 发光角度：用途不同的LED其发光角度不一样。特殊的发光角度，价格较高。

6. 寿命：不同品质的关键是寿命，寿命由光衰决定。光衰小、寿命长，寿命长，价格高。

7. 晶片：LED的发光体为晶片，不同的晶片，价格差异很大。日本、美国的晶片较贵，一般台湾及国产的晶片价格低于日、美。

8. 晶片大小：晶片的大小以边长表示，大晶片LED的品质比小晶片的要好。价格同晶片大小成正比。

9. 胶体：普通的LED的胶体一般为环氧树脂，加有抗紫外线及防火剂的LED价格较贵，高品质的户外LED灯饰应抗紫外线及防火。

每一种产品都会有不同的设计，不同的设计适用于不同的用途，LED灯饰的可靠性设计方面包含：电气安全、防火安全、适用环境安全、机械安全、健康安全、安全使用时间等因素。

安全角度看，应符合相关的国际、国家标准。由于LED是新产品，中国国家标准滞后，但国家提供产品合格测试。具有国际安全认证（如GS、CE、UL等）及国家产品质量合格证的LED灯饰价格要高，因为这些产品在安全设计上是可靠的。消费者注意的是要认真鉴别证书的真伪，现在有国际安全认证及国家产品合格证的厂家并不多。

健康安全方面，采用无毒材料设计的产品价格要高，特别是室内LED灯饰，千万别贪便宜选用有异味的LED灯饰，目前仅少数几家LED厂家是用无毒材料生产，辨别的方法可以直接用鼻子分别，有臭味的产品比无臭味的价格更低很多。类似铅、汞、镉等毒素需专业人员分析。从适用环境安全看，有可靠的防尘防潮设计，材料防火、防紫外线、防低温开裂的LED产品的价格高。

从安全使用时间看，一般消费者要分别优劣是较困难的，设计的可靠性、元器件选用优劣与否，都与价格有很大关系。工程用灯具，千万别选择价格低、品质劣的产品。例如选用电线不同，价格都有差异。部分厂家采用拆机旧电子元件，回收再生塑料、再生金属材料生产LED灯饰，这些劣质LED灯饰价格比正常的LED灯饰价格便宜50%以上。

LED灯饰市场还存在部分非法之徒，欺骗供应商，骗取供应商材料生产成品，以不正常低价出售成品换取现金。也有少数LED灯饰厂家以不切实际的承诺欺骗经销商及用户，然后用不断更改商号或负责人的伎俩来推卸责任。经销商及消费者要谨防贪便宜而受骗。

消费者在选购LED灯具时，常常会产生下面几个误区，现在将其介绍如下：

误区一：实际发光角度当成有效角度

LED的发光角度分为有效角度和实际发光角度。发光强度值为轴向强度值一半的方向与发光轴向（法向）的夹角为有效角度。半值角的2倍为视角（或称半功率角）是实际发光角度。在轴向强度一半以外的角度因为光线太弱在实际应用中不计入有效角度。

误区二：功率越大亮度越高

LED的亮度用发光强度来衡量，发光强度是指法线（对圆柱形发光管是指其轴线）方向上的发光强度，即单位立体角所发射出的光通量，单位为烛光（Candela，cd）。由于一

般LED的发光强度小，所以发光强度常用毫坎德拉（mcd）作单位。一般而言，光源会向不同方向以不同强度放射出其光通量，在特定方向单位立体角所放出之可见光辐射强度即称之为光强度，简称轴向亮度。

误区三：关于白光LED模组的选购

1. 度的（蓝绿）白光LED对静电很敏感，是由LED本身特性决定的。在超过它所能允许的最大正向直流电流和最大反向电压时，可能导致损坏或击穿LED。如三灯LED模组，每个灯都会有一个防静电用的电阻，再加上用于限流的电阻，一共是4个。防静电用的电阻能有效地抑制静电对LED造成的损害，限流电阻主要起到限制整个模组经过的电流量，这样的设计能有效的提高LED的抗过载能力，增强产品稳定性。同时，4个电阻标示是否齐全也是可以简单识别模组品质稳定与否的一个依据。

2. 市场上的白光大多是采用蓝芯片混合黄色荧光粉而成的混合光，出来的光在色谱上会偏向蓝色或紫色，简称冷白光和暖白光。实际应用中，同等亮度的情况下，偏蓝的白光打在白色亚克力面板上泛白光，偏暖色的白光打在白色亚克力面板上泛黄色，看起来偏蓝的白光明显更亮。选购时建议根据不同客户的喜好和工程整体的色调进行选择，比如许多欧洲客户就比较喜欢用类似白炽灯的暖白色光源。

二 LED日光灯

检测LED日光灯是否安全的办法是把日光灯从150cm的高度松手让其自然跌落后，这样做主要检查LED日光灯焊接工艺，然后通电检测是否能正常地点亮。如果条件允许的话用上调压器，检测在高压260V，低压85V日光灯是否被烧坏，是否能正常发光。

在LED日光灯发光的时候，时刻把手放在发光体的正面和反面，测试下LED日光灯的温度，人体温度为正常LED日光灯温度。LED日光灯由散热片、发光二极管、PCB组成，其每个部件都可以完全的拆下来，因此LED日光灯组成材料是否含铅，汞等有毒物质可以在当场检验出来。散热片为铝合金，采用鳍片散热，同时鳍片间距和鳍片高度应按照某一比例设计。散热器表面积应满足整灯的散热要求。外罩用PC材料制作，耐高温达135度。SMD与线路板、线路板与散热器之间的导热树脂。该导热树脂导热系数越高越好，如SMD为0.5W功率时，应选用导热系数大于0.5W/m.k的导热树脂。发光二极管一般采用SMD，而SMD主要对其考虑的就是支架，支架直接影响着LED的导热。

三 行业标准、认证体系和标识

1. LED相关国家标准（见附表）

附表

序号	标准号	标准名称	发布日期	实施日期
1	GB/T 24823-2009	普通照明用LED模块性能要求	2009-12-15	2010-05-01
2	GB/T 24824-2009	普通照明用LED模块测试方法	2009-12-15	2010-05-01
3	GB/T 24825-2009	LED模块用直流或交流电子控制装置性能要求	2009-12-15	2010-05-01
4	GB/T 24826-2009	普通照明用LED和LED模块术语和定义	2009-12-15	2010-05-01
5	GB/T 24827-2009	道路与街路照明灯具性能要求	2009-12-15	2010-05-01
6	GB 24819-2009	普通照明用LED模块安全要求	2009-12-15	2010-11-01
7	GB 19510.14-2009	灯的控制装置 第14部分：LED模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求	2009-10-15	2010-12-01
8	GB 19651.3-2008	杂类灯座 第2-2部分：LED模块用连接器的特殊要求	2008-12-30	2010-04-01

2. 认证体系和标识

（1）CE 认证

“CE”标志是一种安全认证标志，被视为制造商打开并进入欧洲市场的护照。CE 代表欧洲统一（CONFORMITE EUROPEENNE）。凡是贴有“CE”的产品就可在欧盟各成员国内销售，无须符合每个成员国的要求，从而实现了商品在欧盟成员国范围内的自由流通。

在欧盟市场“CE”标志属强制性认证标志，不论是欧盟内部企业生产的产品，还是其他国家生产的产品，要想在欧盟市场上自由流通，就必须加贴“CE”标志，以表明产品符合欧盟《技术协调与标准化新方法》指令的基本要求。这是欧盟法律对产品提出的一种强制性要求。

必须由总部位于欧盟成员国的认证机构才可以签发证书。自80年代末以来，已有一批外资认证机构进驻中国。

（2）3C认证

3C认证实际上是英文名称“China Compulsory Certification”（中国强制性产品认证制度）的英文缩写，也是国家对强制性产品认证使用

的统一标志。作为国家安全认证（CCEE）、进口安全质量许可制度（CCIB）、中国电磁兼容认证（EMC）三合一的“CCC”权威认证，是中国质检总局和国家认监委与国际接轨的一个先进标志，有着不可替代的重要性。它是我国政府按照世贸组织有关协议和国际通行规则，为保护广大消费者人身和动植物生命安全，保护环境、保护国家安全，依照法律法规实施的一种产品合格评定制度。其主要特点是：国家公布统一的目录，确定统一适用的国家标准、技术规则和实施程序，制定统一的标志标识，规定统一的收费标准。凡列入强制性产品认证目录内的产品，必须经国家指定的认证机构认证合格，取得相关证书并加施认证标志后，方能出厂、进口、销售和在经营服务场所使用。目前，中国公布的首批必须通过强制性认证的产品共有十九大类一百三十二种。主要包括电线电缆、低压电器、信息技术设备、安全玻璃、消防产品、机动车辆轮胎、乳胶制品等。

（3）UL认证

UL是美国保险商试验所（Underwriter Laboratories Inc.）的简写。UL安全试验所是美国最有权威的，也是世界上从事安全试验和鉴定的较大的民间机构。 它是一个独立的、非营利的、为公共安全做试验的专业机构。它采用科学的测试方法来研究确定各种材料、装置、产品、设备、建筑等对生命、财产有无危害和危害的程度；确定、编写、发行相应的标准和有助于减少及防止造成生命财产受到损失的资料，同时开展实情调研业务。

UL主要从事产品的安全认证和经营安全证明业务，其最终目的是为市场得到具有相当安全水准的商品，为人身健康和财产安全得到保证作出贡献。就产品安全认证作为消除国际贸易技术壁垒的有效手段而言，UL为促进国际贸易的发展也发挥着积极的作用。UL始建于1894年，初始阶段UL主要靠防火保险部门提供资金维持动作，直到1916年，UL才完全自立。经过近百年的发展，UL已成为具有世界知名度的认证机构，其自身具有一整套严密的组织管理体制、标准开发和产品认证程序。UL由一个有安全专家、政府官员、消费者、教育界、公用事业、保险业及标准部门的代表组成的理事会管理，日常工作由总裁、副总裁处理。目前，UL在美国本土有五个实验室，总部设在芝加哥北部的Northbrook镇，同时在台湾和香港分别设立了相应的实验室。在美国，对消费者来说，UL 就是安全标志的象征，全球，UL是制造厂商最值得信赖的合格评估提供者之一。

（4）ROHS 认证

RoHS认证是《电气、电子设备中限制使用某些有害物质指令》（The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment）的英文缩写。rohs认证也叫做环保认证，是符合欧美标准的。其规定，在电气、电子产品中如含有铅、镉、汞、六价铬、多溴二苯醚和多溴联苯等有害重金属的，欧盟从2006年7月1日将禁止进口。

（5）GS 认证

GS的含义是德语“Geprufte Sicherheit”（安全性已认证），也有“Germany Safety”（德国安全）的意思。GS认证以德国产品安全法（GPGS）为依据，按照欧盟统一标准EN或德国工业标准DIN进行检测的一种自愿性认证，是欧洲市场公认的德国安全认证标志。

1. GS标志，是德国劳工部授权TUV，VDE等机构颁发的安全认证标志。

GS标志是被欧洲广大顾客接受的安全标志。通常GS认证产品销售单价更高而且更加畅销。

2. 欧共体CE规定，1997.1.1.起管制“低电压指令（LVD）”。GS已经 包含了“低电压指令（LVD）”的全部要求。所以，获得GS标志后，TUV 会例外免费颁发该产品LVD的CE证明 （COC），TUV南德意志集团，TUV Rheinland 97年后 的证书则在GS证书中包含了LVD证书。厂商申请GS的同时获得了LVD证明。

3. GS认证对产品和文件的要求

产品要通过欧洲安全标准的型式实验。

产品结构要符合标准要求。

说明书（德文，英文）要符合标准。

按 TUV 要求准备的《结构图》、《电路图》、《零部件清单》等英文文件，产品测试将按这些文件提供的参数进行。

4. GS认证对工厂品保体系有严格要求，对工厂要进行审查和年检：

要求工厂在批量出货时， 要依据ISO9000体系标准建立自己的质量保证体系。工厂最少要有自己的品管制度，质量记录等文件和足够的生产、 检验能力。

颁发 GS 证书之前，要对新工厂进行审查合格才发 GS 证书。

发证书后， 每年要对工厂进行最少1次审查。 无论该工厂申请多少个产品的TUV 标志， 工厂审查只需要1次。

VMA系列数字音频功率放大模块的应用

◎刘丁

近年来随着电子技术的进步，一种新型的音频功放电路——D类音频功率放大器正在被广泛使用。D类功放跟传统的模拟功放不同，不是直接通过电压信号来驱动扬声器，而是将音频信号调制成频率高的PWM信号，再用这个信号去驱动感性的扬声器线圈，从而出声音。与传统的功放相比，D类功率放大器最大的特点就是效率高。传统的A类功率放大器相当大一部分功率耗散在驱动电路上了，因此效率很低（通常为20%~30%）。这显然不符合当代绿色节能的潮流。D类功放由于采用PWM模式，效率非常高（可高达90%），因此同样的输出功率，传统的A类功放需要大得多的电源，而且需要大面积的散热器。而D类功放的电源需求只有同功率A类功放的1/4左右，并且由于发热量小，通常只需要很小的散热器甚至不用散热器。此外D类功放的电路通常比较简单，可以省很多空间，因此故障率也大大低于传统的模拟功放。

D类功放作为一种较新的功放电路，尽管经常被很多音响发烧友诟病有“数码声”，然而无论是仪器测试还是实听测试都表明，D类音频放大器的音质丝毫不亚于传统的模拟功放。可以预见，不久的将来，节能环保的D类功放必将成为音频功率放大器的主流而被广泛应用。

VMA系列数字音频功放模块简介

VMA 系列数字音频功放模块是由北京瑞宇飞科技有限公司推出的高品质微型 D 类音频功放模块，目前共有 5 种型号，该系列功放模块具有以下特点：

内部集成了功放所需的所有器件，通常情况下信号通路不需要任何外围元件就能构成高品质的功放电路。

采用了高效无输出电感的设计，使得模块的体积非常小，可以与一枚邮票的尺寸相仿。由于采用了边缘半孔的设计，因此该模块也被很多用户形象地称为“邮票功放”。

高功率密度，以VMA2016为例，仅以15mmx25mmx3.8mm的体积就能在8Ω负载时输出10Wx2的功率。

发热小，效率高，节能环保。以VMA2015为例，即使在满负荷（15W）、模块无散热器的情况下，外壳仅感到温热。

外围电路简单，无需散热器和大功率电源，大大降低了系统成本。

VMA系列功放模块的型号和参数如表1所示。

表1

型号	通道数	电源 (V)	Icc (A)	功率 (W,@8Ω)	失真度 THD+N	信噪比 (dB)	效率 (@8Ω)	增益 (V/V)
VMA2012	2	2.5~5.5	0.06	2.5W×2	0.2	92	88%	40（Max）
VMA2013	1	10~24	0.02	6W	0.07	97	86%	4.8~30dB
VMA2014	2	10~24	0.05	5W×2	0.07	97	86%	4.8~30dB
VMA2015	1	10~24	0.03	15W	0.07	97	86%	4.8~30dB
VMA2016	2	10~24	0.06	10W×2	0.07	97	86%	4.8~30dB

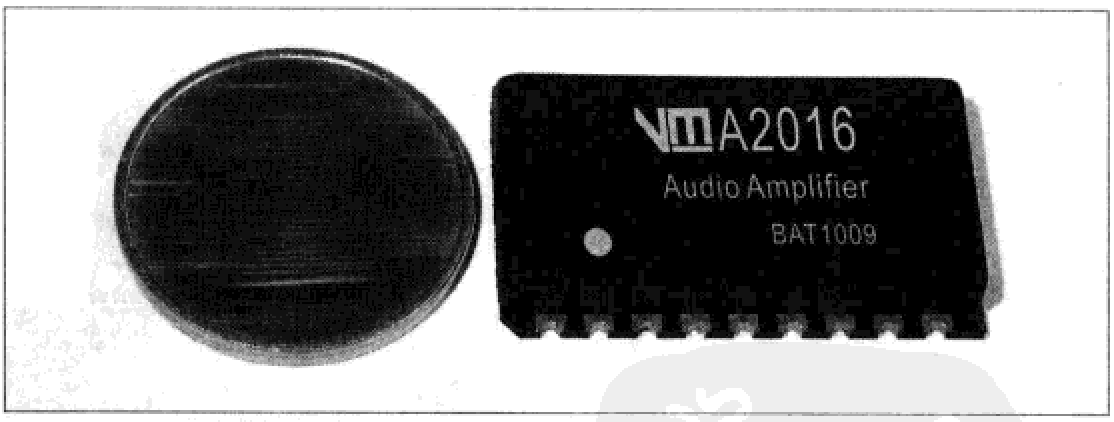


图1 VMA2016立体声功放模块实物

其中VMA2013与VMA2015是pin-pin兼容的，VMA2014和VMA2016是pin-pin兼容，仅功率不同，可以直接互换。

VMA2016功放模块的外形如图1所示。

可以看出，即使是目前该系列模块中输出功率最大的，也仅与一枚硬币尺寸相仿。小体积的优势使得 VMA 系列芯片在汽车音响、电池供电音响、手持设备等空间有限的应用中大有用武之地，下面逐个介绍该系列的成员。

VMA2012

VMA2012是该系列中最早诞生的，以其输出功率而言只能算小兄弟。不过2.5W×2的功率也决不可小觑了，可以让你的桌面小音箱唱得满屋子微震。这个型号最大的特点是供电电压低，只需要2.7V就能正常工作了，最高也不能超过5.5V。也就是说，需要两三节干电池供电，甚至用USB或者手机充电器等电源都可以给其供电工作，VMA2012可以推动8Ω的小音箱让十几平米的房间充满美妙的音乐。这对于传统的模拟功放而言是不可思议的。

VMA2012的引脚图及功能如图2所示，引脚说明如表2所示。

VMA2012模块采用的是VM系列模块常见的PQN-12封装，外形尺寸为15mmx18mmx3.8mm，非常纤小。

采用VMA2012设计立体声功放非常简单，通常只需要两个设置增益的电阻。如果20倍的电压增益正好适合，这两个电阻可以省去。小体积、低成本、低电压的特性使得VMA2012非常适合用于高端收音机、便携式小型音响、桌面音响等场合。

图3所示的是VMA2012的参考设计电路。

该设计中采用的是单端输入的设计，适合用来直接接MP3等音源。当然也可以设计成差分输入的模式用于与codec等设备接口。电压增益通过两个电阻Rg1和Rg2来设置，增益的计算公式为：

$$G_{ain}=\frac{300}{Rg+15}\quad (V/V)$$

由增益的公式可以推断出，如果省去Rg直接将输入信号接入模块，VMA2012最高增益是20倍。这样的增益正好适合MP3等音源推动小型桌面音箱。如果有特殊需要更高的增益，我们可以根据客户的要求进行制造。

表2

名称	说明
VCC	电源正极，2.7～5.5V
GND	电源地
IN1+, IN2+	信号输入正
IN1-, IN2-	信号输入负。单端输入时直接接地。
Out1+,Out2+	功率输出正
Out1-,Out2-	功率输出负
EN(SHDN#)	使能端，接VCC正常工作，接地关闭放大器

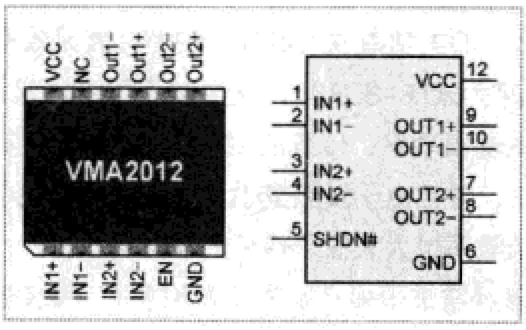


图2 VMA2012引脚图以及元件符号

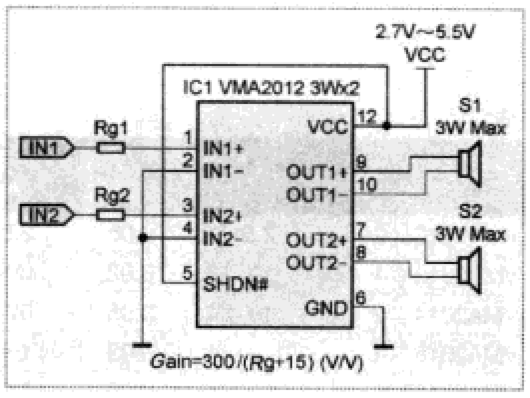


图3 VMA2012参考设计

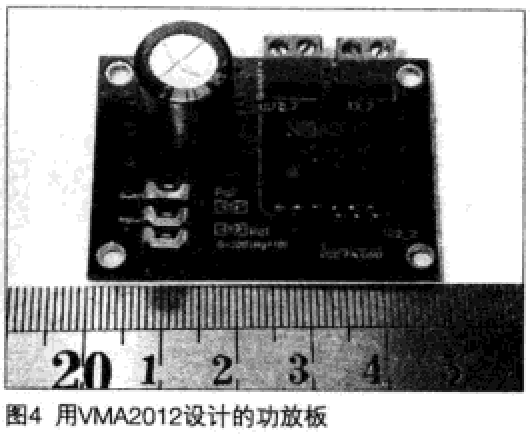


图4 用VMA2012设计的功放板

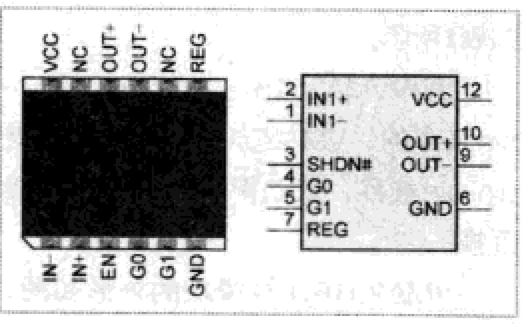


图5 VMA2013/2015引脚图和元件符号

图4所示的是用户采用VMA2012模块制造的功放板，其尺寸仅为CF卡大小，可以装入非常小的空间内做成超mini的功放。有用户评价其音质“超乎预想，完全可以满足日常的音乐欣赏需求。”

VMA2013/VMA2015

VMA2013/2015是单声道大功率的音频功放模块，在负载为8Ω时VMA2013输出功率是6W，VMA2015是15W。在半功率输出时模块的THD+N仅为0.07%。两种芯片外观尺寸和引脚完全一样，因此可以互换使用。模块封装引脚和器件如图5所示。

VMA2013模块采用的是VM系列模块常见的PQN-12封装，尺寸为15mmx18mmx3.8mm，其引脚说明如表3所示。

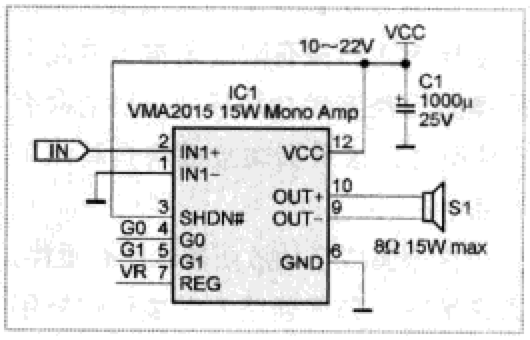


图6 VMA2013/2015参考设计电路图

表3

<table>
<tr><th>引脚名称</th><th>说明</th></tr>
<tr><td>VCC</td><td>电源正，10～24V</td></tr>
<tr><td>GND</td><td>电源地</td></tr>
<tr><td>IN+</td><td>差分信号输入正</td></tr>
<tr><td>IN-</td><td>差分信号输入负，单端使用时接地</td></tr>
<tr><td>OUT+</td><td>功率输出正</td></tr>
<tr><td>OUT-</td><td>功率输出负</td></tr>
<tr><td>EN（SHDN#）</td><td>使能，接VCC正常工作，接地关闭放大器</td></tr>
<tr><td>REG</td><td>逻辑电压输出，用于G0和G1的逻辑高电平输入</td></tr>
<tr><td>G0，G1</td><td>增益设置，设置值如下：
<table>
<tr><td>G1</td><td>G0</td><td>增益（dB）</td></tr>
<tr><td>GND</td><td>GND</td><td>30</td></tr>
<tr><td>GND</td><td>Reg</td><td>13</td></tr>
<tr><td>Reg</td><td>GND</td><td>18.6</td></tr>
<tr><td>Reg</td><td>Reg</td><td>16</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

采用VMA2013/2015设计功放电路同样很简单，最简化的情况下可以不要任何外围元件。当然为了改善音质，特别是在大功率输出的情况下，建议加一只1000μF以上的电源滤波电容。电容越大对改善大动态的响应越有利。此外在具体设计时，G0和G1可以设计成跳线的形式以便设置不同的增益值。图6所示是VMA2013/2015的参考设计电路图。

该设计中采用的是单端输入设计，这时将IN-直接接地。G0、G1和VR在PCB上可以用跳线来进行设置。

图7所示的是采用VMA2015设计的15W×2立体声功放板，通过对比可以看到尺寸仅比CF卡略大，而输出功率却能够达到15W×2，充分显示出了VMA系列模块高功率密度的优势。

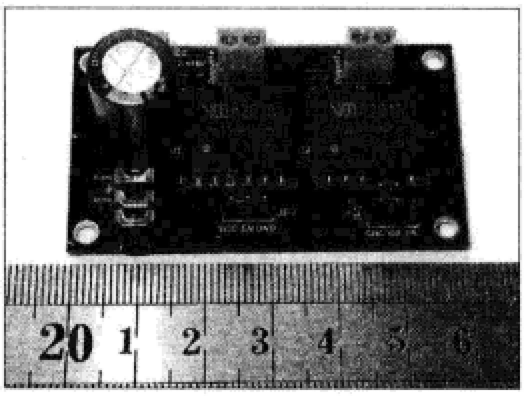


图7 用2015设计的15W×2立体声功放板

表4

引脚名称	说明
VCC	电源正，10~24V
GND	电源地
INL+，INR+	差分信号输入正
INL-，INR-	差分信号输入负，单端使用时接地
OUTL+，OUTR+	功率输出正
OUTL-，OUTR-	功率输出负
EN（SHDN#）	使能，接VCC正常工作，接地关闭放大器
REG	逻辑电压输出，用于G0和G1的逻辑高电平输入
G0，G1	增益设置，设置值如下： G1 / G0 / 增益（dB） GND / GND / 30 GND / Reg / 13 Reg / GND / 18.6 Reg / Reg / 16

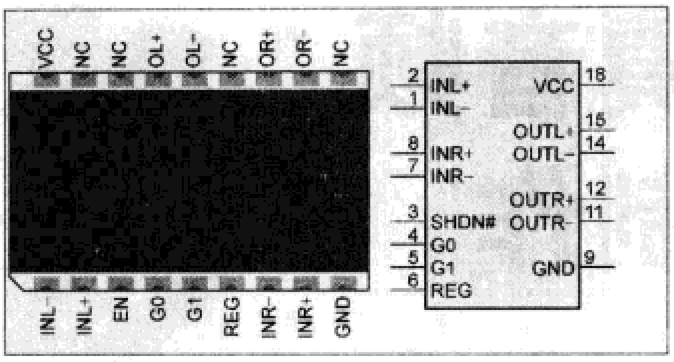


图8 VMA2014/2016引脚图和元件符号

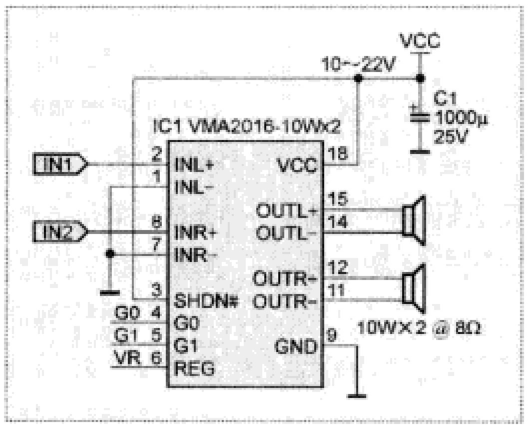


图9 VMA2014/VMA2016参考电路

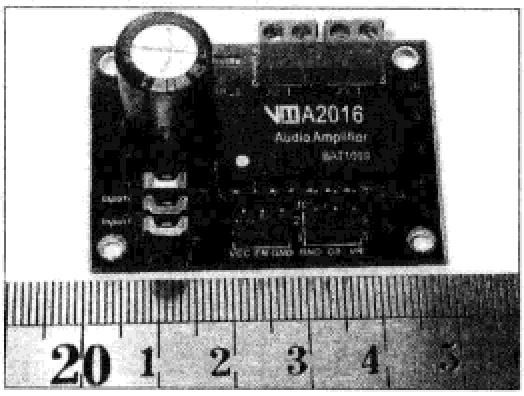


图10 用VMA2016设计的10Wx2立体声功放板

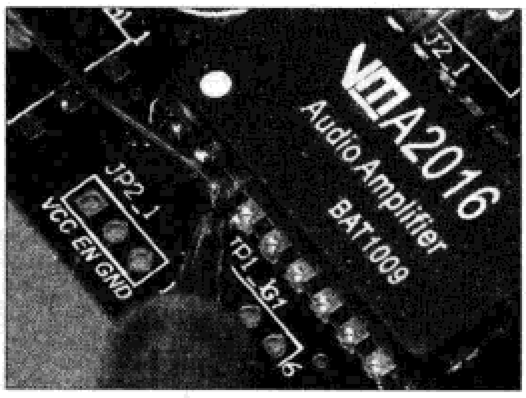


图11 VMA系列模块的手工焊接

VMA2014/VMA2016

VMA2014/VMA2016是中/大功率的立体声音频功放模块。8Ω负载时VMA2014的输出功率为5W×2，VMA2016的功率为10W×2。半功率输出时THD+N仅为0.07%，SNR高达97dB。两种芯片外观尺寸和引脚完全一样，因此可以互换使用。该模块封装引脚如图8所示。

VMA2014模块采用的是VM系列模块常见的PQN-18封装，尺寸为15mmx25.4mmx3.8mm，其引脚说明如表4所示。

图9所示的是单端输入设计，这时将IN-直接接地。G0、G1和VR在PCB上可以用跳线来进行设置。

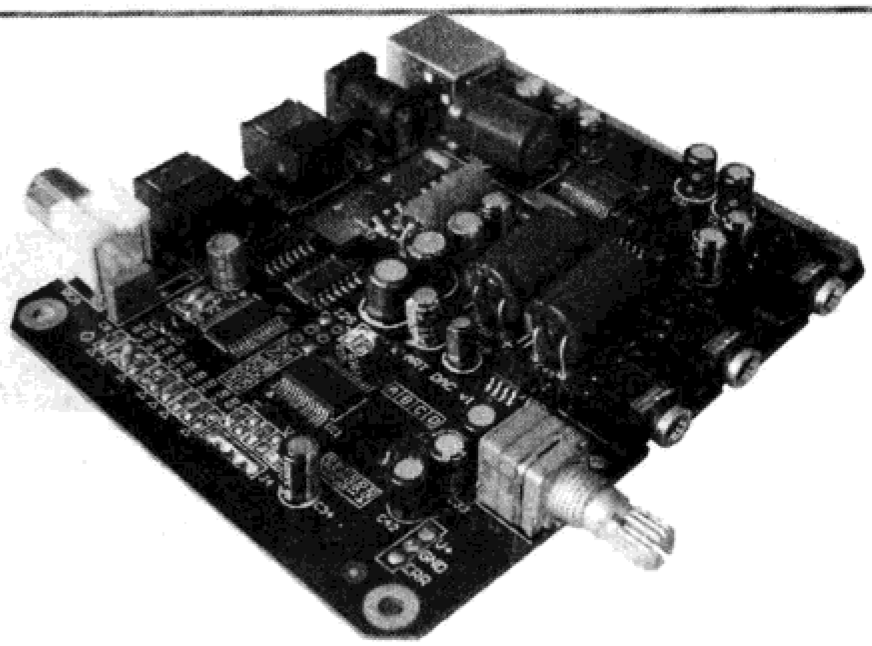
图10所示的是采用VMA2016设计的10W×2立体声功放板，尺寸仅与CF卡相仿，可以轻易放入很多小音箱以及其他音频娱乐设备中。

目前VMA2016已经在汽车音响、桌面音响中被大量使用，其优异的音质、纤小的体积、简洁的电路以及高性价比得到了广大用户的一致好评。有用户评价：“音质不错，高、低音非常均衡，音质细腻耐听，高频纤细，低频量感也很好”；“非常省电，开到一般响度，离音箱2m左右听弦乐声音正合适，消耗电流在100mA左右”；“发热量很小，在常规音量下，电路仅微微温热而已”。

VMA系列模块的焊接

VMA系列模块采用耐高温的材料进行封装，因此可以采用回流焊进行焊接。在业余条件下用电烙铁焊接也是非常方便的。准备一把尖头烙铁和一些细焊锡丝（1mm以下最佳）。先在焊盘上涂上一些助焊剂，然后将模块放到准确的位置，使模块上的引脚与焊盘一一对应好。将焊锡丝放入半孔缺口，用烙铁轻轻触碰焊锡丝，很快焊锡就会融化并且将模块的半孔焊盘与底板的焊盘牢固地焊接在一起，焊接的操作如图11所示。

掌上高保真音频解码器的制作



◎游宇兵

一直想着做一台功能全面、能配合电脑使用的解码器，并且这款解码器要带有光纤和同轴，还要有USB接口，最好还有光纤输出，这样可以连接到其他解码器设备使用，同时希望可以便携，前段时间终于找到机会着手制作了。

虽说这不是一个大系统制作，但为了制作成功，做好计划和准备工作还是必须的，磨刀不误砍柴工嘛。

首先是进行规划，就是将所设想的内容清晰化。这个步骤可以勾勒出解码器的功能模块，甚至细化到各个模块大致上如何实现等。这个提法可能很老套，但涉及到新的东西，我还是习惯按部就班。

解码器的框图如图1所示，框图是一个很好的工具，可以使构思清晰地呈现出来。

结构并不复杂，有3个输入源：光纤接收器、同轴和USB，所以应该设计一个可以在这3者之间进行切换的电路。当然可以用开关，不过对于这种便携的解码器而言，用自动切换的方式会比较好。另外光纤输出同样也面临这个问题，需要在上述3个输入源之间进行选择，这样就很完美了。

对于USB编解码电路部分，我选择了TI公司的PCM2902芯片方案，因为之前做过，驾轻就熟吧。电路也是现成的，在TI公司提供的数据手册里面就有。我们只选用了USB转S/PDIF（索尼/飞利浦数字接口格式）、S/PDIF转USB和模拟到USB（编码）的功能，舍弃了USB转模拟（解码）功能，因为解码器中有更好的D/A解码芯片可以使用。

而数字音频信号接收部分，主要功能就是将S/PDIF的数字信号转换成I²S格式。后者是多数音频数模转换芯片所采用的接口。目前性能较好的接收芯片有CS8416（Cirrus Logic），DIR9001（TI），AK4117（AKM）等。这里我选择采用CS8416，这片IC性能很高，应用也灵活。CS8416可以工作在软件模式和硬件模式，也就是说可以通过单片机配置参数，或者通过CS8416自身I/O进行配置。为了简化设计，我们采用了硬件模式。通过电阻的上、下拉配置参数，参数值需要和D/A转换器匹配。

D/A转换器是一个关键器件，当然选择范围也很广。这里选定了AD1853。同样没有采用软件，就是按芯片内部默认配置的参数工作。同时考虑将通信控制脚留出，可以在后期进行单片机配置操作。

模拟电路部分采用运放搭建低通滤波器和缓冲器，得到的模拟信号即为线性输出，经过电位器后输入到耳机放大电路，输出可以直接驱动耳机的模拟信号。线性输出是为了连

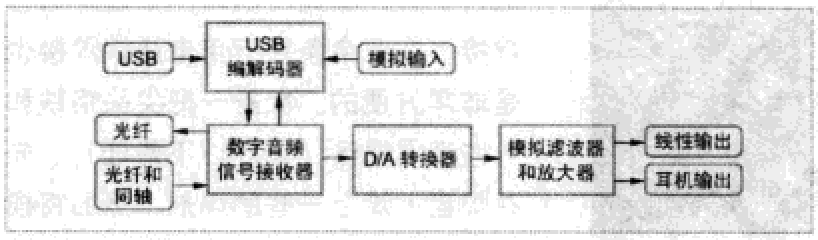


图1 解码器结构框图

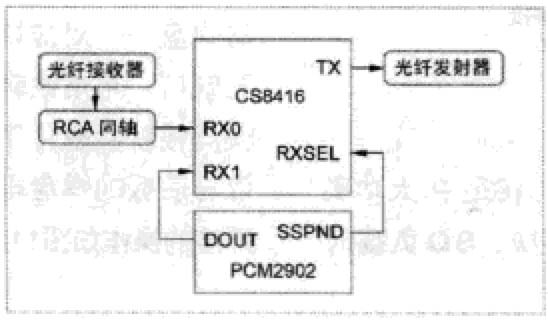


图2 信号源切换原理图

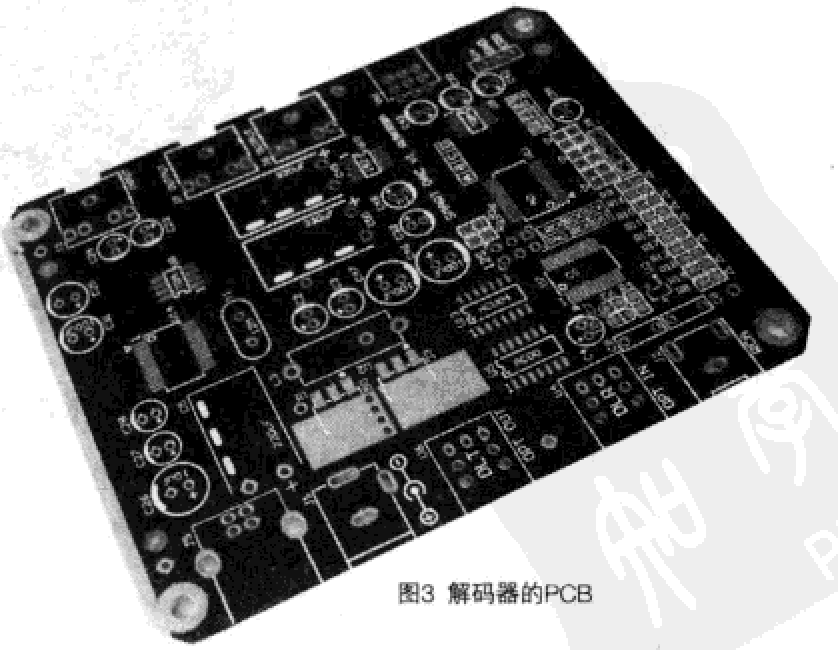


图3 解码器的PCB

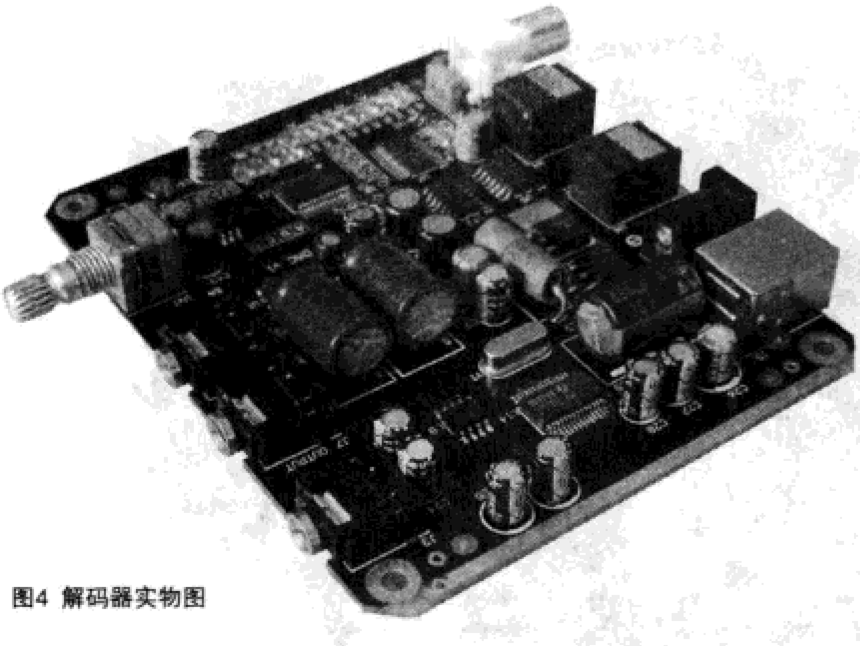


图4 解码器实物图

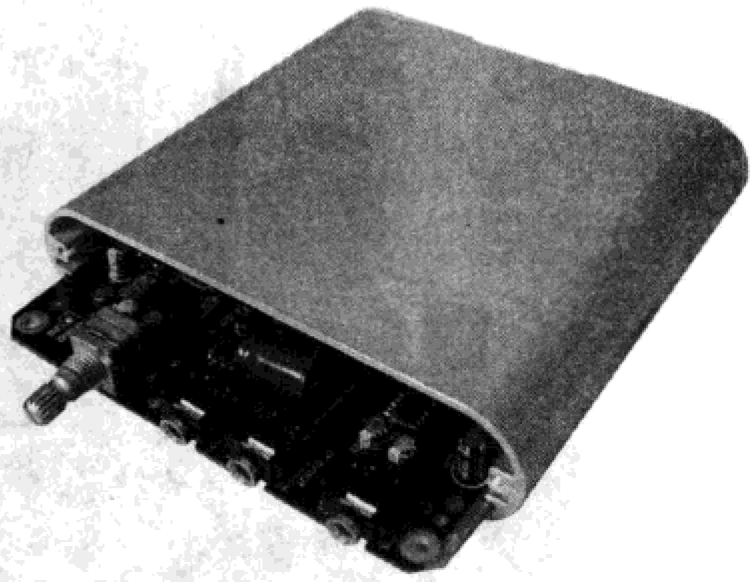


图5 解码器的外壳

接到功放等设备而准备的。

现在，各个模块都已经确定，不过并不意味着大功告成，还要进一步想好每个模块之间的衔接。这一步做得不好，将影响到基本功能的实现。

首先是如何实现上面所说的3个输入源的切换问题。信号源切换原理如图2所示。这里我们采用了带有切换功能的RCA连接器，将光纤接收信号也连接到RCA。当插入RCA时，光纤接收过来的信号被自动断开。反之，光纤接收信号就会输入到接收芯片。后面就是USB过来的信号如何切换，这里我们利用了CS8416芯片自身带的多通道输入功能，将USB的S/PDIF信号输入到第二通道上，然后通过控制CS8416芯片的RXSEL0（通道选择控制）脚，可以在USB和光纤/同轴间切换。控制信号就取自USB模块电路，比如USB的电源，当然更好是用PCM2902的SSPND管脚。该管脚在芯片工作和不工作两种状态下改变高、低电平。同样，我们将CS8416的TX输出转换成TTL电平后输入到光纤发射器，就可以实现光纤输出。

接下来是模拟电路的设计，其中低通滤波电路也可以选用AD1853数据手册所推荐的，当然参数也可以根据自己试验或仿真结果进行调整。耳放电路采用的是TPA152，这是一款高保真的75mW立体声耳机放大器专用芯片，可以在1kHz频率、32Ω负载的THD+N优于0.1%，而10kΩ负载的THD+N则优于0.005%。TPA152带有MUTE（静音）功能，当MUTE管脚为高电平时，则放大器置于“静音”状态。我们可以将AD1853的ZERO（零输出）引脚接到TPA152的MUTE引脚，这样当没有音频信号输出时，将放大器自动静音，可以进一步降低底噪。比起常见的晶体管输出关断电路，TPA152的关断、开启噪声要低得多。有兴趣大家可以对比试验。

下面是实现的阶段了。板上多数元件都经过精心挑选，如电阻选择贴片封装，而电解电容也尽可能选外形小巧，体形大的电解电容采用卧式安装，以实现整个板的小型化。最终PCB尺寸控制在98mm×80mm，而板上元件高度则控制在13mm以下，可以放在手掌之上。图3所示的是PCB，图4所示的是焊接完成的电路板实物图。

上电测试，效果尽管在意料之中，心中还是充满了惊喜。这款解码器的动态表现和解析力远在先前制作的那款USB解码器之上。在9V直流电源供电下，可以很轻松推动多款耳机。

外壳用现成的，自己再进行一下加工，如图5所示。不过我的进展速度向来不快，还没有开始钻孔加工，所以只能先摆出来看看。诸位如果有兴趣制作这款解码器，现在就可以动手，到组装完成时，说不定还会快我一步呢。

音频解码器电路板设计中的小细节

解码器有数字电路和模拟电路两部分，所属元件最好分开放置，数字信号和模拟信号走线也要避免交错，最好相互远离。两者地线也要分开，只在D/A解码芯片附近通过磁珠单点连接。地线分割的区域要避免走线跨越，以免形成大的地线回路。此外，USB模拟部分的地线也要和D/A模拟部分割开，因为USB的模拟电路没有和D/A解码电路相连。

在布线时，一些关键信号需要特别注意，比如同轴信号、I^2S信号、USB信号和D/A解码芯片输出的模拟信号等，这些信号容易受到干扰而形成较大影响，最好避开干扰源。如果能做到走线中没有过孔是最理想的。类似USB和模拟输出的差分信号线，最好采取对称、等长的走线。

部分分立元件（比如晶体振荡器、耦合电容、滤波电容等）对性能也可能有决定性的左右，晶体振荡器需要远离发热器件（如稳压芯片），以免受热频偏，耦合电容要选择高性能的系列，实现对音质损耗达到最小，而在数字电源上并联的固态电容，相对比电解电容可更好地抑制纹波。

另外，从扩展的角度看，一些接口（比如I^2S总线，以及D/A解码芯片的微控制器接口）可以预留一些焊盘，这些都是为后期挖掘更多功能而准备的。

◎安石

300B推FU-5胆机的制作

300B推FU-5(美日型号为805)是一个非常古老而又非常值得研究的话题，如何设计放大电路，选择什么样的耦合方式，怎样让频带更宽、音色更美、功率更大，是很多音响DIY同行们关注的问题。笔者历时一年多，仔细筛选理想中的每一个耦合电容，反复揣摩每一次的调试结果，并多次请来“烧友们”试听，终于在2010年5月圆满完成了这台300B推FU-5的胆机。我是个工薪族，在经济条件允许的情况下，尽力使自己的作品达到了理想的效果。本文介绍一下具体制作过程，请大家斧正。

放大电路的设计

前级放大电路采用国产管6J8P（属于中高频电压放大五极管），该管以音乐味浓郁而著称，曾被多种世界名机采用。为了充分利用该电子管的放大特性，可根据电子管手册上给出的6J8P的静态特性曲线来确定元件的参数，见图1。

同时采用前苏联的6H8C双三极管做SRPP放大，这样做的好处是：两只管子的音色与音质有所不同，用户可以根据自己的听音习惯进行选择。

推动级电路采用300B功率放大管，用纯电阻作负载，电容耦合输出与FU-5衔接，传统的做法是采用变压器耦合输出。虽然它可以得到比较合理的输出阻抗和输出电流，允许下一级电子管在有栅流的状态下工作，但是当信号频率降低时，变压器次级线圈的感抗要下降，导致变压器初、次级线圈两端的感应电压下降，放大倍数降低。由上面分析得出这样一个不太成熟的结论：变压器耦合，低频电压放大的频率特性较差。采用阻容耦合，放大频率特性相对

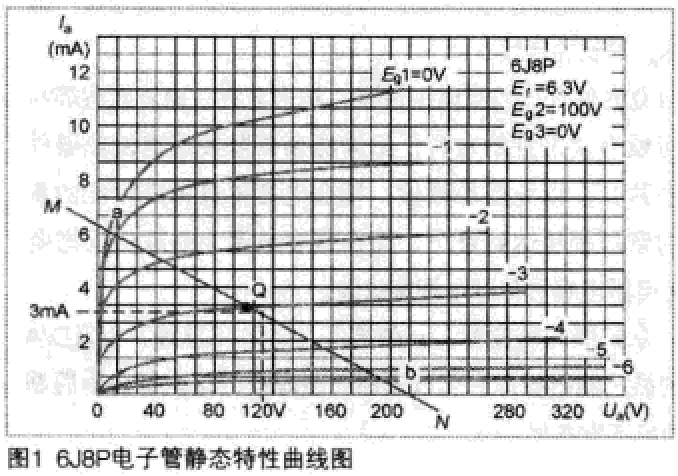


图1 6J8P电子管静态特性曲线图

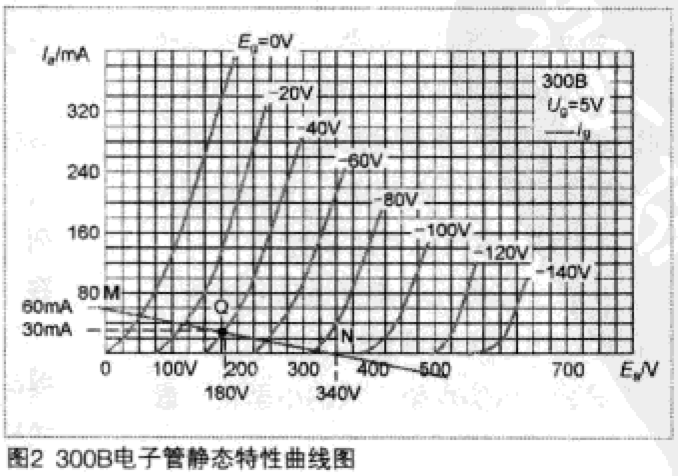


图2 300B电子管静态特性曲线图

图3 FU-5的管脚形式

要好一点。

300B的静态特性曲线如图2所示，根据曲线上的基本参数和已知的电源电压340V，来确定负载电阻和阴极电阻。

功率放大级电路采用无负反馈单端甲类输出电路，以充分发挥FU-5电子管高保真音质的潜能。FU-5电子管是一种灵敏度高、性价比高的大功率低频放大管，很容易制造出20W以上输出功率的单管甲类放大器。其主要数据有：灯丝电压U_f=10V、灯丝电流I_f=3.25A、阳极电压U_{amax}=1500V、阳极电流I_a=100mA、屏耗P_{amax}=125W、工作频率f_{max}=1MHz、放大系数μ=50、内阻R_i=10kΩ，管脚形式见图3。

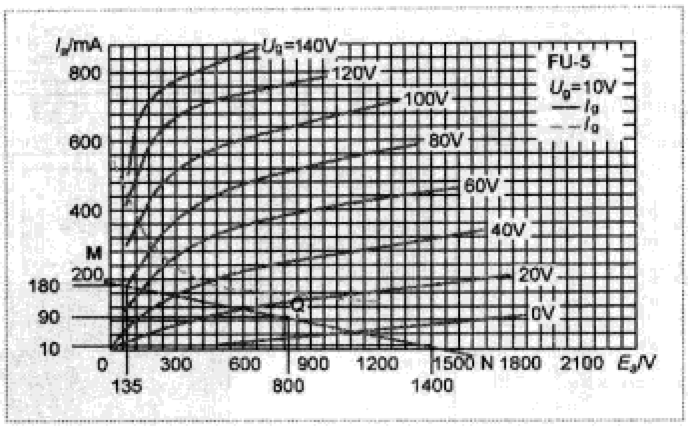


图4 FU-5电子管静态特性曲线图

FU-5电子管的静态特性曲线如图4所示，根据曲线的基本参数和已知的电源电压800V、输出变压器初级端的交流阻抗为8kΩ。可以得出该管的栅偏压E_g≈+12V。

经过计算，最大输出功率约为26W。阳极电源所供给的功率P_o约为60W。

输出变压器的要求

输出变压器的质量是胆机技术性能指标的根本保证，笔者的变压器是国内某厂生产的（由于时间关系，没有自己绕制输出变压器），其输入端阻抗为8kΩ，输出端阻抗为0、4、8Ω，电感量L≥70H，频响为20Hz~20kHz，功率为50W。该产品是采用分层分段设计，精工制作，用电缆纸作层间绝缘，耐高压，频率特性好，性价比非常高。

整机的电源设计

一部胆机的声音好与否，设计与用料直接关系到音色与音质的好坏，应给予高度重视。这早以成为众多发烧友的共识。本机从抗干扰，减少纹波，提高音质等多方面加以考虑。交流部分采用带有滤波电路的插座，首先滤除电网中的高频干扰，再进入电源变压器（某军用发信机上的拆机品，功率800W）。

直流高压部分采用两只5Z3P作全波整流，笔者通过前几次装机经验体会到，使用一般的电容器做π型滤波，多少缺了点通透、圆润的感觉。而这次使用的滤波电容为（ROE 470μF/380V、VQ0.1μF/1000V、美国100μF/680VAC油浸电容），设两个200mA/5H的大电感，做CLC的π型滤波，将800V和340V高压直流电源分两路供电（且在800V高压电路中串联一个500mA的电流表，便于今后调整与观察）。意外的收获：（1）压降小，滤波效果非常好，达到了减少纹波的目的。（2）前后放大电

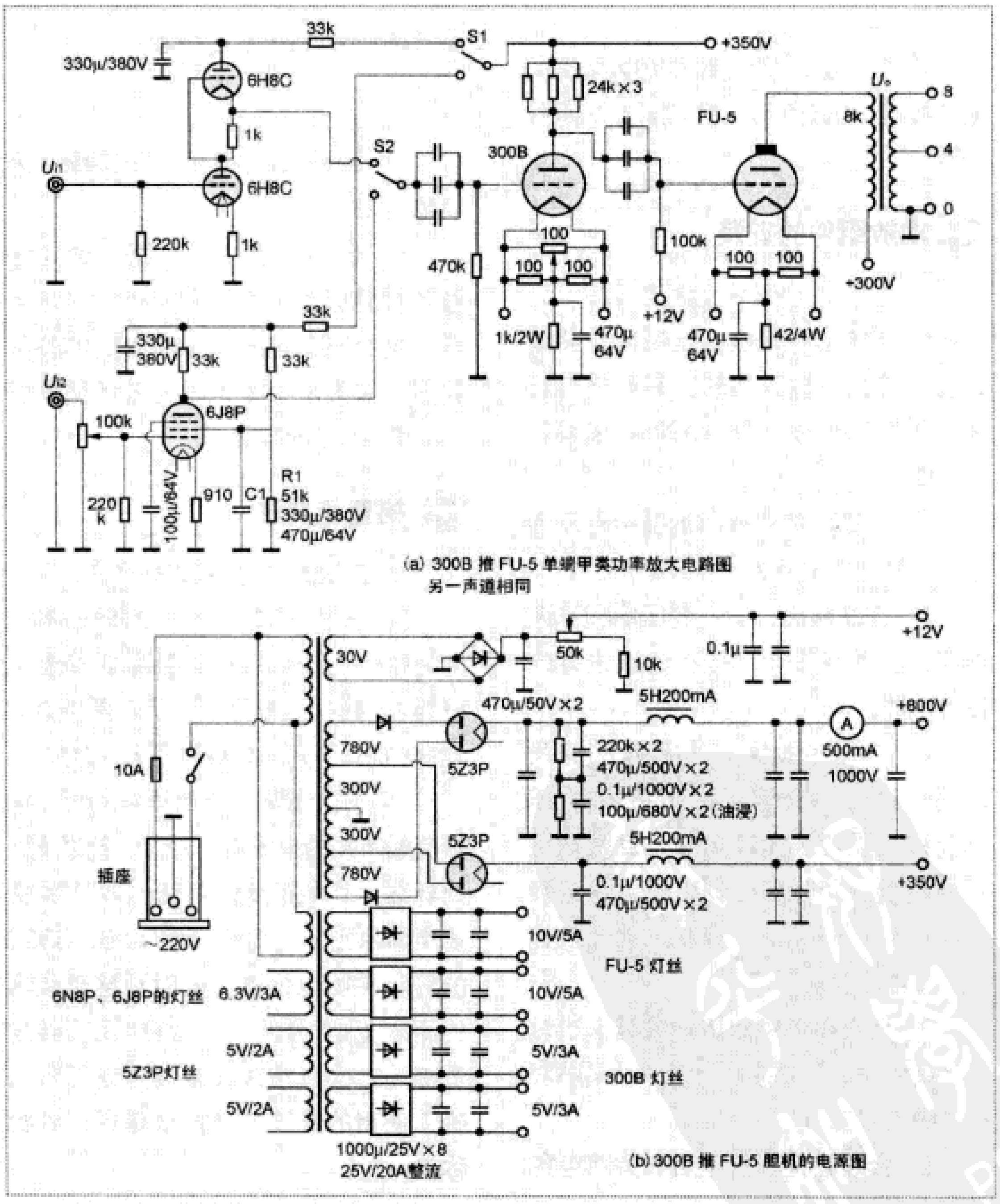


图5 300B推FU-5单端甲类功率放大整机电路图

路既互不干扰，又能量充足。（3）音色圆润，晶莹通透。

对6J8P和6H8C的灯丝采用交流供电（这里千万不能使用直流供电，否则音乐味荡然无存），则会产生十足的音乐空气感和丰盈的胆味，而那些微弱的交流声就显得微不足道。对300B和FU-5则采用直流供电，外加100Ω平衡电阻进行微调，以确保较高的信噪比。

300B采用自给偏压，而FU-5则采用固定偏压，值得一提的是+12V直流电压的整流滤波非常重要，最好采用大容量滤波电容ROE 470μF/50V和0.1μF /200V的高频旁路电容，做CRCπ型滤波，以保证不串入高频杂波信号。

综上所述，整机电路图以及各点电位数据如图5所示，机壳加工图如图6所示。

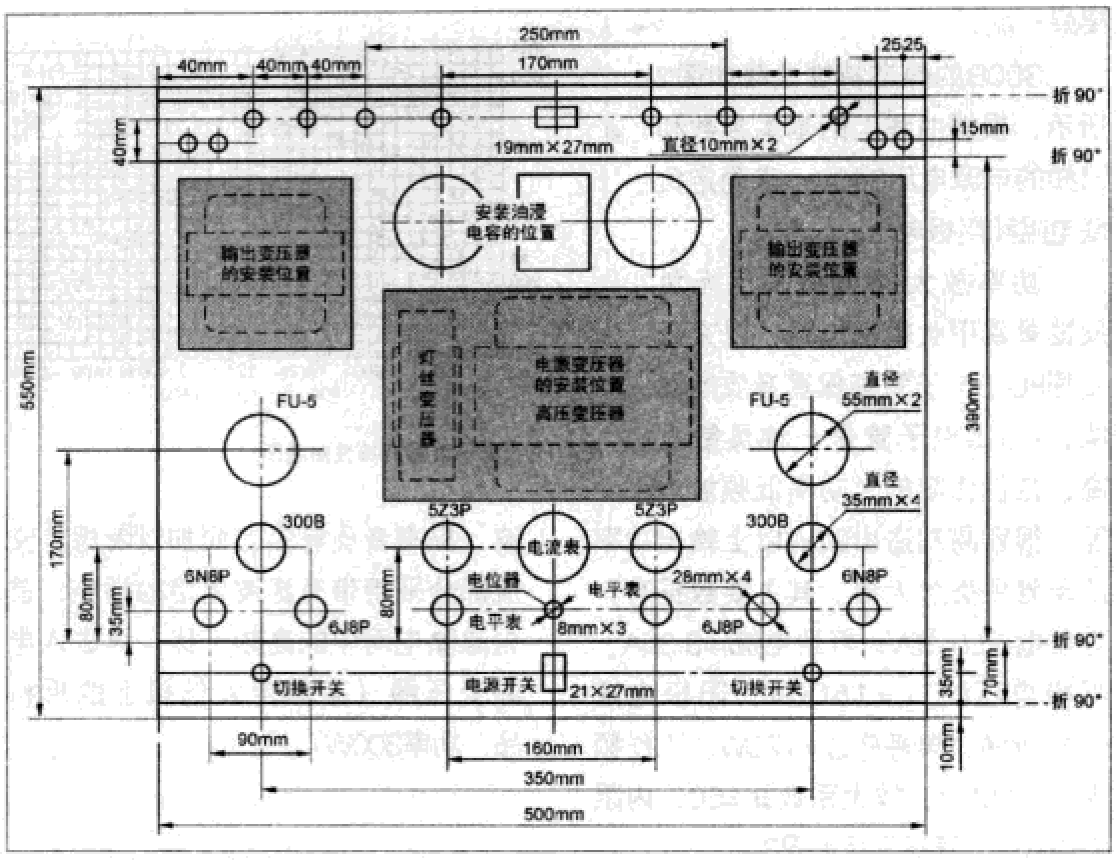


图6 300B推FU-5胆机底板加工图

功放组件的安装

1. 机座设计图纸交铁皮厂加工，采用2mm厚的冷轧板冲压制作，喷漆之前先检查各种元件的安装孔是否正确，先刷防锈漆，再喷黑色金属漆，烤干即可。

2. 安装机座上所有的插接件及音量电位器、电源开关、电源插座。

3. 安装输出、输入变压器和滤波电容器，并且采用比较粗的镀银铜线设置地线。

4. 选择多股铜芯的网络线(实践证明，这样做交流干扰声特别小)作为前级交流灯丝的连接线，且紧贴于底板走线，同时用比较粗铜芯线连接300B、FU-5的灯丝。开机后首先检验各灯丝电压是否正确。

5. 使用单芯镀银屏蔽线和卡达时RCA镀金插座，焊接信号线，且紧贴底板边缘走线。

6. 合理选择布置电阻和旁路电容的安放位置。

7. 初调FU-5栅压：使得栅压为+12V左右。

8. 最后连接高压电路，通电测量各管阴极对地电压和阳极（对地电压）是否符合电路图中所给定的参考数据。如果差距太大，先考虑微调栅压，再检查其他电路。

检查与调试

1. 连接8Ω假负载或扬声器。

2. 开机调试：FU-5的栅极电压为+12V，此时阴极电阻两端直流电压为3V左右，根据$I=V/R$得$I=3/40\approx0.075$（A），阳极电压为+800V。

3. 测试调整：无信号输入时，测量负载两端的电压应为7mV，若达不到此标准（耳朵距离音箱50cm听不到交流声为原则），检查调整FU-5、300B的灯丝平衡电位器，同时观察毫伏表的读数（越小越好），检查6.3V灯丝是否接地，检查布线及滤波电路是否正确，使用的滤波元件容量是否达到标称值。

4. 输出功率的测算：输入信号，电位器置于最大状态，测得负载（4Ω）两端电压为10V，其额定输出功率则根据$P=IU$，得$P=V^2/R=10^2/4=25$（W）。这一参数接近前面提出的理论值。

5. 使用双踪示波器，输入不同频率的正弦波，同时观察输入信号波形与功率输出波形（量程不一样）几乎可以重叠，这是在业余条件下检验放大器失真度的方法。

放大电路中阻容元件的选取

在300B推FU-5放大电路中采用什么样的耦合电容，笔者整整实验了半年时间。矛盾的焦点在于为了保证低频下限的拓展，会采用较大容量的耦合电容，这在一定程度上既大大增加了成本也影响了高频的穿透力。笔者解决矛盾的办法是：（1）在一个大电容上并联一个高素质的小电容，而并联 M-CAP锡箔电容就是一个良好的选择。试验得RIFA420+M-CAP、大S SOLEN+M-CAP都是良好的搭配，对改善高频的细腻延伸和通透感以

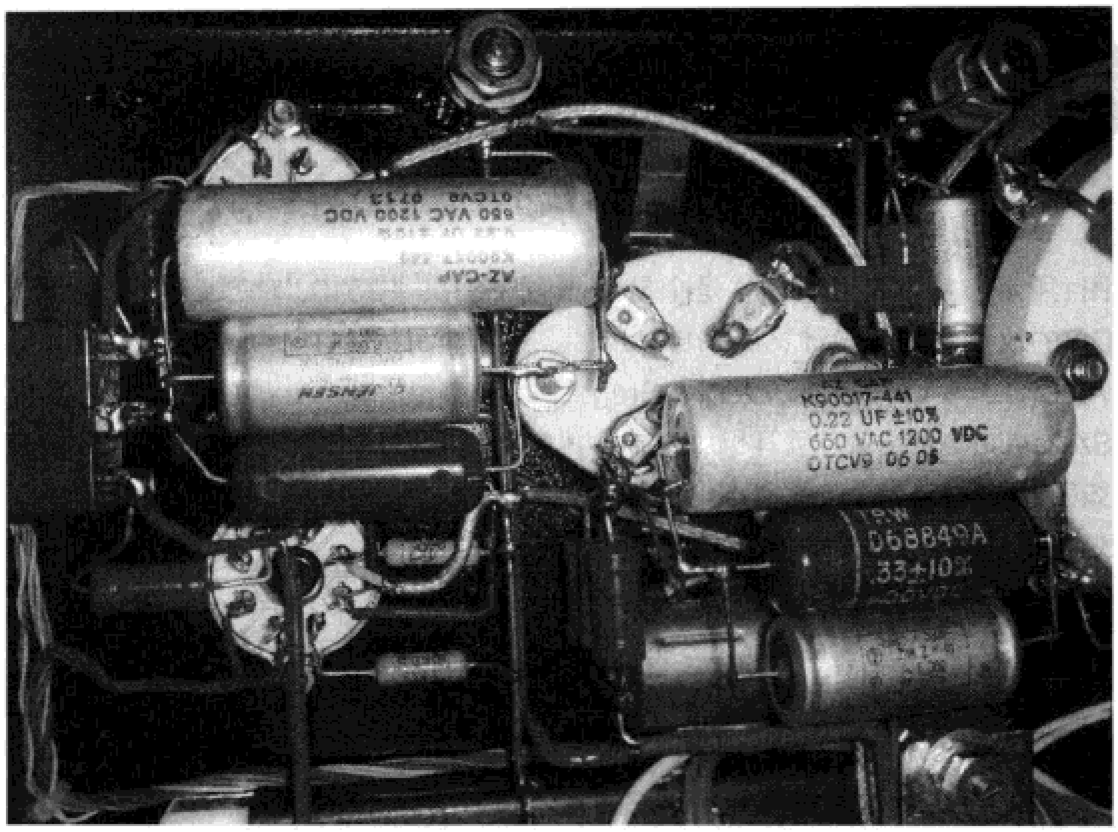


图7

及弱音细节的再生有显著的效果。M-CAP的油浸银膜电容体积小巧、耐压高，具有声音通透、清新、细腻、柔顺流畅的特点，整体的平衡度是所有试听电容里面最好的。尤其是中频段的还原很有吸引力，人声的表现极具人性化。无论是男生还是女声都能给人以富有磁性的魅力，不算淳厚但也不薄，密度质感不过不失。实在难以使用自己贫乏的语言去准确、恰当地形容它的声音表现，总之，它是一款具有优秀性价比，非常中性、非常全面的极品电容。需要注意的是这款油浸银膜电容非常难煲，需要比其他电容煲更长的时间才能进入状态，而且煲透后跟没煲声音差别非常大，若不经过熟煲，抓过来就上机试听，它很可能会让你失望。（2）选择比较好的阻容元件，让自己的胆机更有品位。选择什么样的阻容元件，说法不一，以我之见：阴极电阻选择美国的DALE高精度无感轴向引脚电阻。滤波电容首选性价比较高的RIFA、ROE、NI CZI CON。耦合电容选择的余地比较宽，常见的有VQ、ERO、SOLEN、AZ-CAP、M-CAP、CRC、JENSEN等。在此要特别强调：胆机电路中的元件应用，重在配搭，最贵的不一定就是最合适的，应针对自己机器进行调整。（3）本机的搭配是笔者多次在300推FU-5胆机中的验证，自我感觉配搭得比较完美。在前极放大（6J8P或6H8C）与推动极300B之间选择0.068μF/300V JENSEN（战神）、0.22μF/660V AZ-CAP(油浸)、0.33μF/400V TRW（红美人）三个电容并联使用。在推动极300B与FU-5之间选择0.068μF/300V JENSEN、0.22μF/660V AZ-CAP、0.1μF/400V TRW三个电容并联使用，见图7，得到的声音表现是：淳厚、温暖、通透，尤其是听大气磅礴的鼓、心情激荡的琵琶，就好像一幅宽广的历史长河展现在我们的面前。

体会

凡是玩胆机的人都认可这样一个事实，那就是胆机的声底特别干净，音色纯正，声音鲜活。并且随着机器工作时间的延长，其音色更加洁净醇厚、逾加炉火纯青。为了发挥胆机的特长，除了选择更换优质的电子管以外，在选择耦合电容时也务必应该掌握以下几点。

1. 好声音是“挑”出来的。挑选什么样的电容元件，说法不一，目前音响DIY的发烧圈里公认的说法是：滤波电容首选性价比较高的RIFA、ROE、NI CZI CON，耦合电容选择的余地比较宽，常见品质比较好的有：VQ、ERO、SOLEN、AUDIO-CAP、M-CAP、AZ-CAP、JENSEN等。

2. 好声音是“煲”出来的。上机试验的耦合电容要多“煲”一段时间，才能听出来这电容的声音是什么“味道”。因为大部分音响DIY的发烧友们，在购买耦合电容时，首先考虑在二手市场掏宝（因为有档次的新电容都是天价），所以购买回来的电容往往存在诸多问题，尤其是油浸电容，更要认真检查、测试、配对、通电试验。在外观无疑问的情况下，再上机反复长时间地试听。

3. 好声音是“试”出来的。制作一个电容电路板，将各种各样的耦合电容焊上去，再做一个切换电路，反复比较它们之间的差异，选择您自己最喜欢的声音取向。当然，这需要大量的时间和精力，要耐得住枯燥与寂寞，用不同的耦合电容来尝试同一首曲子。好电容有时候真的能让您眼前一亮，让您的耳朵享受到更多的音乐细节，一种激情、一种成就会让您快乐到了极点，兴奋地走来走去，这是实现梦想之后的狂喜。

4. 好声音是“练”出来的。好声音要靠我们的好耳朵来检验，而好耳朵需要经过长期试听的历练，要经常接触高档的、不同品牌的音响设备，经常和音响鉴赏家们切磋技艺，在各种音响器材的鉴赏中练就了一副好耳朵。

场效应管耳机放大器DIY手记

◎梓门 编译

DIY的精髓在于体验、创新和动手做，并不在乎制作的设备或者系统是否大而全，因为那是设备制造商要做的，大而全的设备市场上也都买得到，自己制作会耗费很多，难度也很大，从者寥寥，爱好者之间交流体验的机会就会大大减少。本文编译自“diyAudioProjects”网站，为了兼顾入门者，译者添加了一些说明并增加了一些相关资料。加拿大的爱好者Giovanni Militano（乔瓦尼·米利塔诺）、澳大利亚的爱好者Mark Houston（马克·休斯顿）及某国外的爱好者Greg Szekeres（格雷格·塞凯赖什）所进行的DIY，简单、有趣，很值得我们借鉴和学习。

电路原理

用电脑声卡来驱动Grado（中文行业名称：歌德，美国）SR80耳机（阻抗32Ω），其表现让我不堪忍受，最终促使我下决心为我的电脑专门DIY一个耳机放大器。我的DIY观念一贯是简单、少花钱，尽量利用自己手中现成的元器件。

本文DIY的耳机放大器电路如图1所示，从电路上看，这是个易于DIY的放大器，其设计灵感来自Mark用2SK1058 DIY的A类放大器和Greg Szekeres的A类场效应管耳机放大器，如图2所示。这两个电路有不少相似之处，电路采用了简单的单端A类电路。图3（a）所示的是普通的电阻负载单端A类放大器，效率最高为12.5%。图3（b）所示的A类放大器采用了有源CCS（Constant Current Source，恒流源）取代了无源的电阻偏置，CCS的特点是能够提高效率，最大能够达到25%。

图1所示的电路有两点需要注意：一是基于场效应管的源极跟随器的电流驱动能力比较强，但是电压增益小于1，因此这个电路只适合于无需电压增益的应用（如MP3、PC声卡的输出）；其次，像图1这样的单端电路对电源纹波的抑制能力非常弱，很容易受到电源噪声的干扰，因此最好采用稳压电源供电。采用具备10～20V稳压输出、750mA电流供应能力的质量比较好的电源适配器，就可以满足需要。

图1所用的VMOS是IRF610，实际上，很多类似的型号都可以采用（如IRF630、IRF510、IRF530等）。恒流源采用常见的LM317构成的电路，设计恒流电流为250mA，恒流电流值可以根据下式进行计算：$I_{OUT}=1.25/R4$，电流的单位是A，电阻的单位是Ω。

制作过程

这个耳机放大器是专为我的电脑设计的，因此它必须和我的环境相协调。我刚好有一个损坏的Plextor（浦科特，日本）外置光驱，用它的外壳作为耳放的机壳刚好合适。非常有利的是，它的后面板上刚好有一个电源开关、电源适配器输入插座和一对RCA端子（原本是信号输出端子现在刚好用作信号输入端子），而前面板上的耳机插孔也刚好可用作耳放的输出，真是太理想了。后面板的方孔是原来USB插座位置，插座被我挪作它用了。

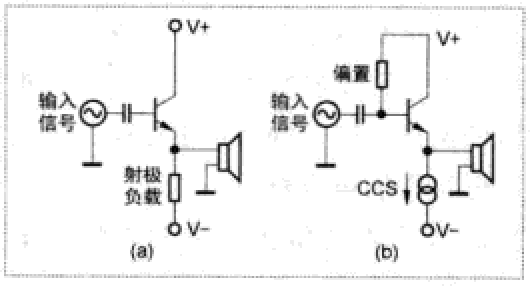


图3 两种单端A类放大器简图

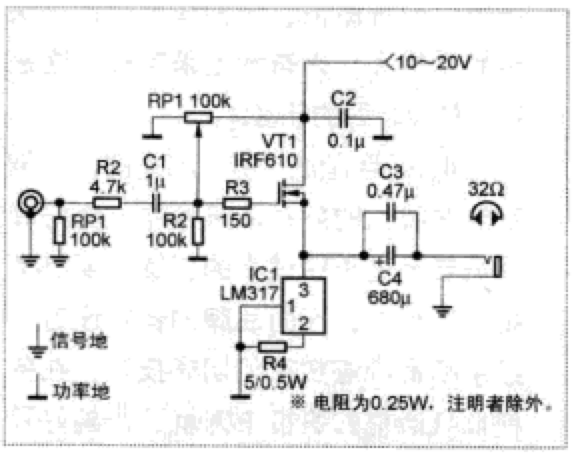


图1 基于IRF610的耳机放大器电路原理图（一个声道）

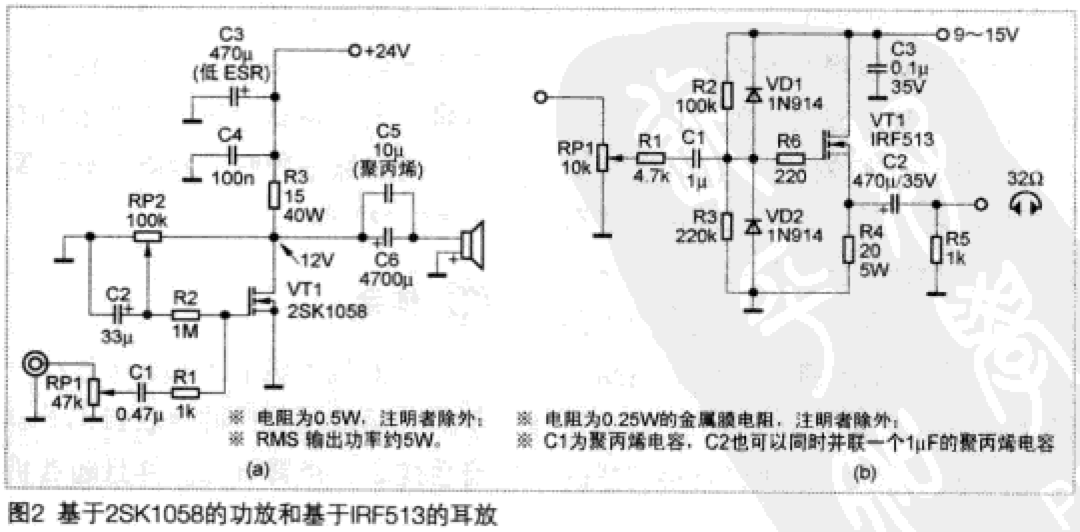


图2 基于2SK1058的功放和基于IRF513的耳放

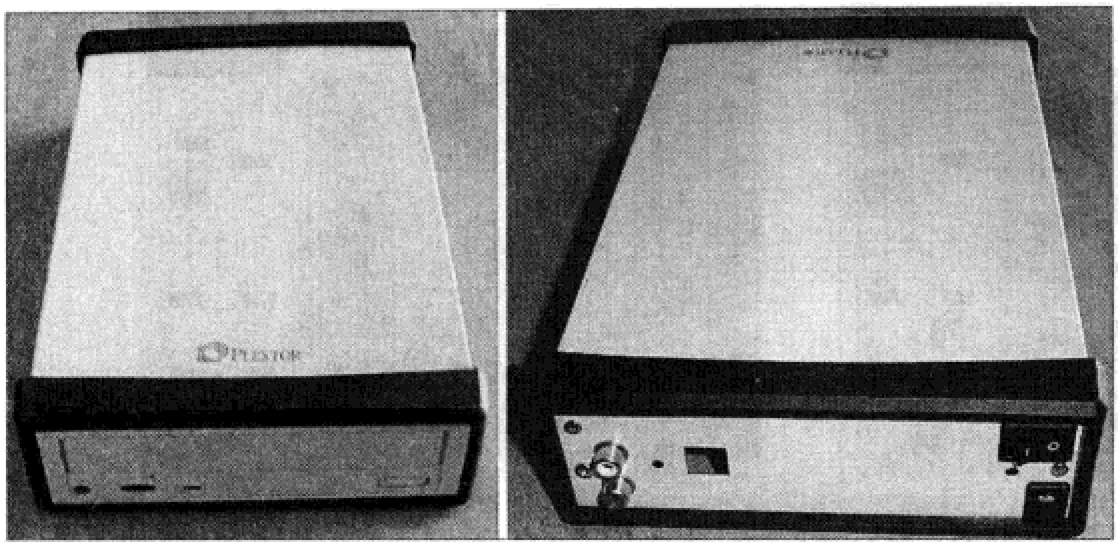


图4 Plextor外置光驱

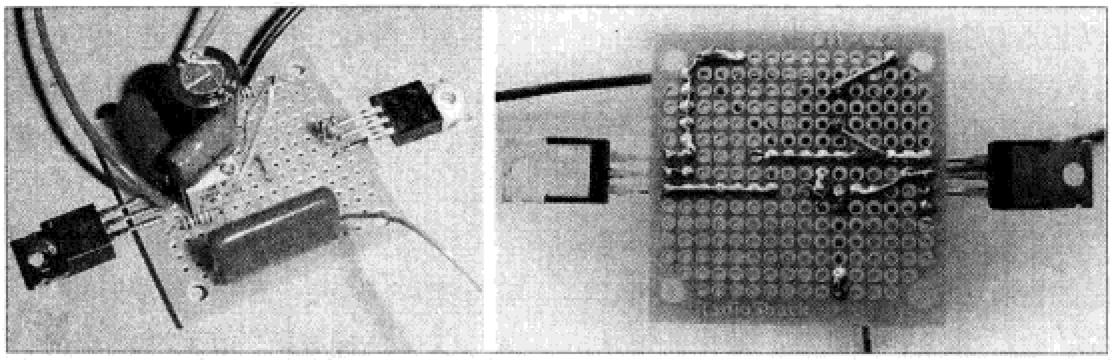


图5 装好的一个声道的耳放实物

全部电路装配在一块尺寸为45mm×45mm的面包板上，我只用了一半，如图5所示，也没有用任何发烧的元件。普通的金属膜电阻（阻值两声道配对了），输入电容（C1）是1μF的聚乙酯膜电容，图中蓝色的便是，高频旁路电容（C3）是0.47μF的聚丙烯电容，退耦电容（C2）也是聚丙烯的，图中两个红色的便是。有些爱好者喜欢用品质更高的电容作为输入、旁路电容，以便改善音质，而我并不以为然。电阻也可以用碳膜的，不过我认为金属膜的更合适一些，因为它们的温度稳定性要好一些，这对于CCS电路尤其重要。

对散热没有特别的要求，图6中最小的一个散热片约45mm×45mm，正常工作时不过略温而已。需要说明的是，所有的散热器都是安装于金属外壳上的，这有助于热量的散发。要谨记的是，VMOS和LM317的散热片和散热器之间要加装绝缘垫片。

首次上电试机用的是一个可调的稳压电源，这样可以使用很低的电压。偏置电压通过100kΩ的可调电阻RP1进行调节，使VMOS的输出电压（源极电压）等于电源电压的一半（漏极电压）。在最初上电的几个小时里，偏置电压可能会发生漂移，这时候就需要监测并进行微调。这个电路理论上可以在10～20V的直流供电范围内很好地工作，不过实际上，13V以上才比较好。所使用的稳压电源应该是让这个放大器听起来没有“哼”声（或者是非稳压的但是输出纹波足够低的电源），普通的整流电源并不合适。

试机完成后，接下来就是力所能及的测试，我使用了新买的USB虚拟示波器，标称60MHz带宽，最大采样率105MHz，它是一种为爱好者开发的简易虚拟示波器，而不是市场上售价高达数千元的工业用品。当然，都是基于PC的。正弦波测试，20Hz～20kHz范围内（受限于我的信号发生器）都比较好，图7所示的是100Hz、4800Hz的方波响应的测试图。

通道1（绿线，上部）是输入信号，通道2是输出信号（黄线，下部）。我的信号发生器不够好，所以输入信号看起来也不够好（实际上是业余档次的USB虚拟示波器本身的方波响应特性不好）。对比输入与输出信号的电压不难发现电压增益为0.8。100Hz响应曲线的方波顶部有些倾斜，但是还算稳定，倾斜的斜度随着测试信号频率的升高而逐渐减小，到300Hz就基本消失了，直到我所能测试的20kHz。实际的音乐信号的基波是正弦

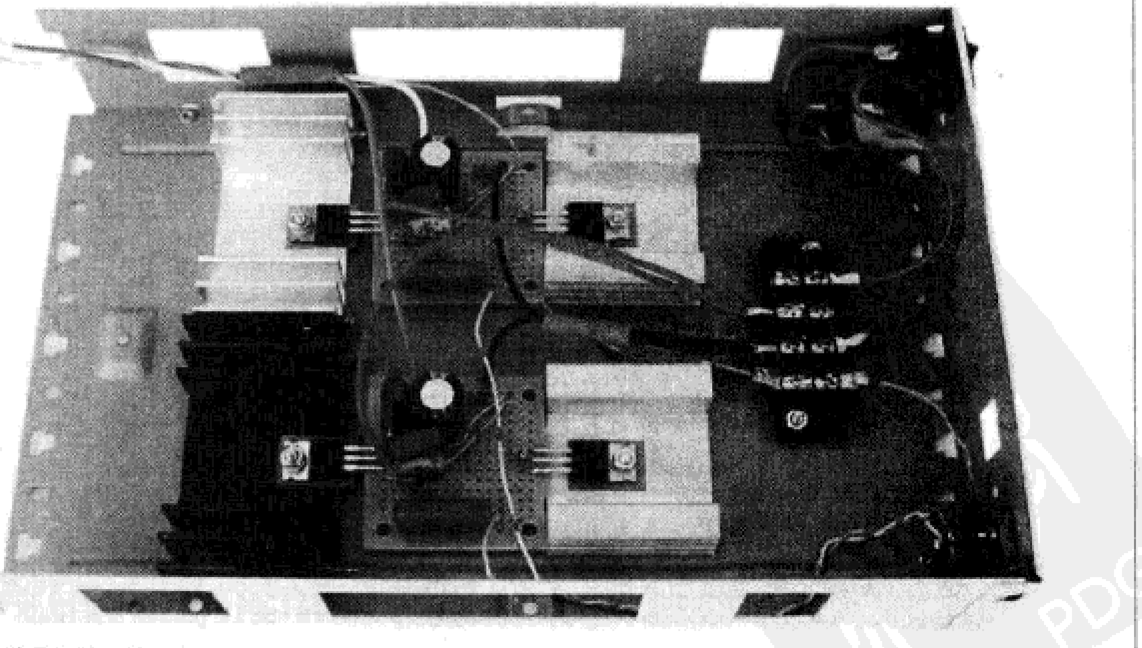
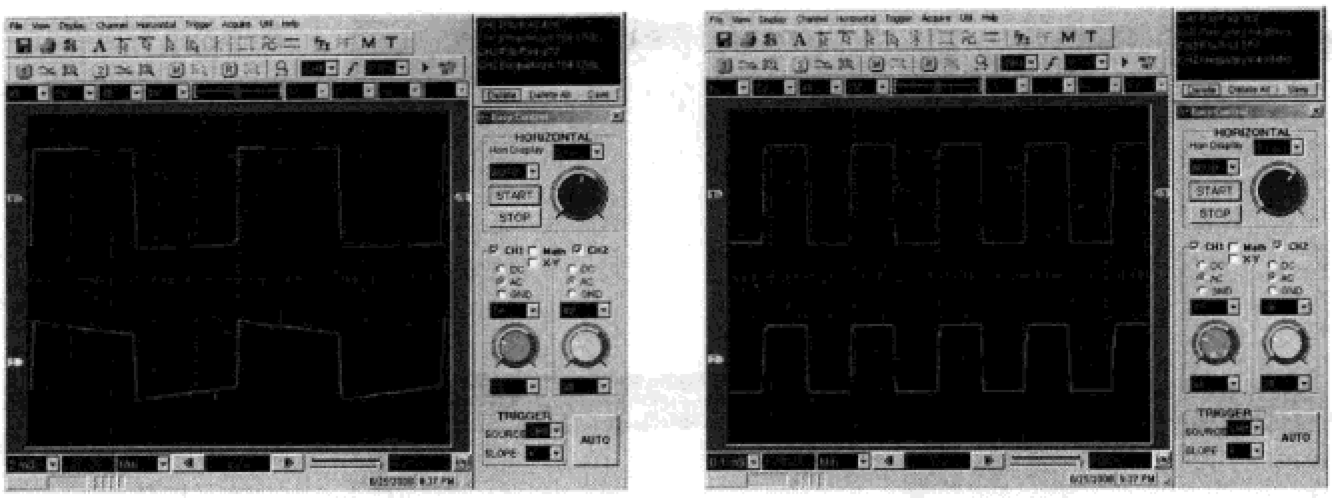


图6 总装好的耳放内部



(a). 100Hz (b). 4800Hz

图7 频率响应测试图

波，在整个音频频域内，正弦波的响应特性都是令人满意的。

最后一项工作就是用环氧树脂把光驱前面板粘到一块裁剪好的铝板上，然后将它们一起粘到外置光驱的外壳上。音量由MP3或者电脑来控制，所以这个放大器就没有设置音量控制电位器。图上的音量控制旋钮是从光驱上拆下来粘到上面的。

图8所示的是用可调稳压电源试机现场。装调好的耳机放大器的样子如图9所示，图中也包括我的SR80耳机和MP3。

声音评价

虽然这个耳机放大器的电路只是简单的单端电路，但它的声音却令我非常满意。用它推动我的Grado SR80耳机显得轻松自如，倒是我的MP3就显得捉襟见肘了。和我的NAD C162前置放大器中内置的耳放相比，我更喜欢这个DIY的耳放的声音。

补遗

1. 本文涉及的VMOS

本文涉及的VMOS的技术规格如附表所示。表中的参数符号说明如下：

V_{DSS}：漏－源击穿电压，一般是极大值，是表征VMOS耐电压击穿的主要参数。

I_D：漏－源最大正向平均电流，是表征VMOS电流耐受能力的主要参数，测试信号为单脉冲，持续时间一般是20ms。

R_{DS}：漏－源饱和导通电阻，也写作$R_{DS(on)}$，随温度的升高而增大，电路的导通功耗可以大致由此计算出来。

P_D：漏极耗散功率，漏极能够承受的最大功率，实际参数已经换算成了电功率，一般所说的多少“瓦”的管子就是指这个数值。

V_{GS}：栅极—源极最大耐受电压。

$V_{GS(TH)}$：栅极阈值电压，也叫开启电压，VMOS开始导通时的最小栅极—源极电压。

g_{fs}：跨导，单位是S（西门子）。

C_{iss}：输入电容。这个参数主要用来定性评估驱动功率和栅极功耗并佐证Q_g。

$t_{d(off)}$：关断延时时间，栅极驱动电压变为0V后源－漏极关断的时间。

Q_g：总栅电荷，也称为门电荷，FET达到饱和导通状态时栅极所需的电荷，与温度无关，也写作Q_g（tot）。

Q_{rr}：体二极管反向恢复电荷，随温度的上升而增加，它比t_{rr}（反向恢复时间）更能反映体二极管对电路的影响。

附表 T_A=25℃，参数为典型值，有说明者除外

参数名称		型号参数				
符号	主要测试条件	IRF610	IRF513	2SK1058	IRF630	IRF530
		N沟道	N沟道	N沟道	N沟道	N沟道
V_{DSS}	I_D= 250μA，V_{GS}=0V	200V	80V	160V	200V	100V
I_D	V_{GS}=10V	3.3 A	4.9A	7A	9.3A	17A
R_{DS}	V_{GS}=10V	1.5Ω	0.5Ω	0.13Ω	≤0.3Ω	≤0.09Ω
P_D		36W	43W	100W	82W	70W
V_{GS}		±20V	±20V	±15V	±20V	±20V
$V_{GS(th)}$	I_D= 250μA，V_{DS}=V_{GS}	2～4V	≥2～4V	≥1.45V	2～4V	2～4V
g_{fs}		≥0.8S	2.0 S	1.0S	≥4.9S	≥12S
Q_g	V_{GS}=10V	≤8.2nC	5.0nC	不详	≤35nC	≤37nC
C_{iss}	f=1MHz，V_{GS}=0V	140pF	135pF	600pF	575pF	920 pF
$t_{d(off)}$	R_G=24Ω，V_{GS}=10V	14ns	21ns	不详	27ns	35ns
Q_{rr}	I_F=3.3A，di/dt=100A/μs	1.4μC	0.4μC	不详	542μC	320μC
封装形式		TO-220AB	TO-220AB	TO-3P	TO-220AB	TO-220AB
制造商		IR	Harris	Renesas	IR	IR

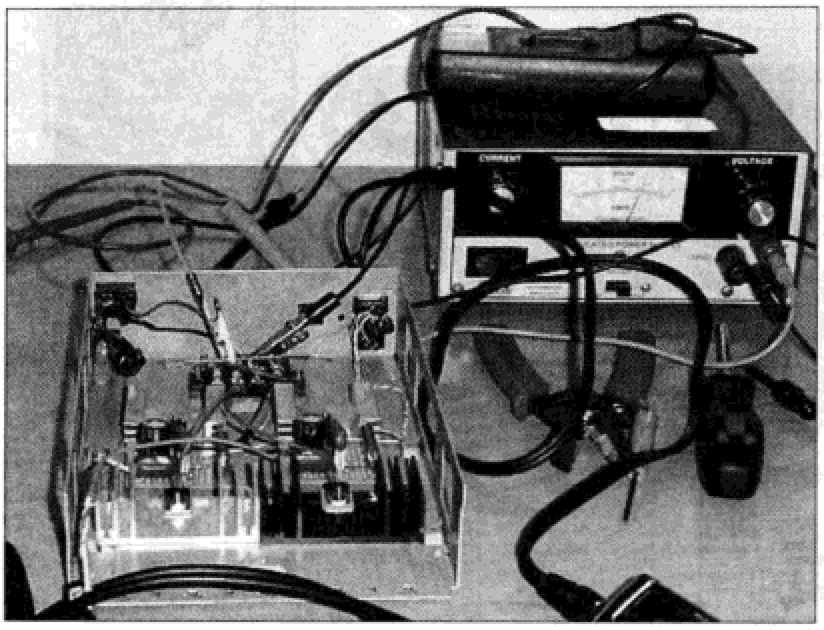


图8 试机现场

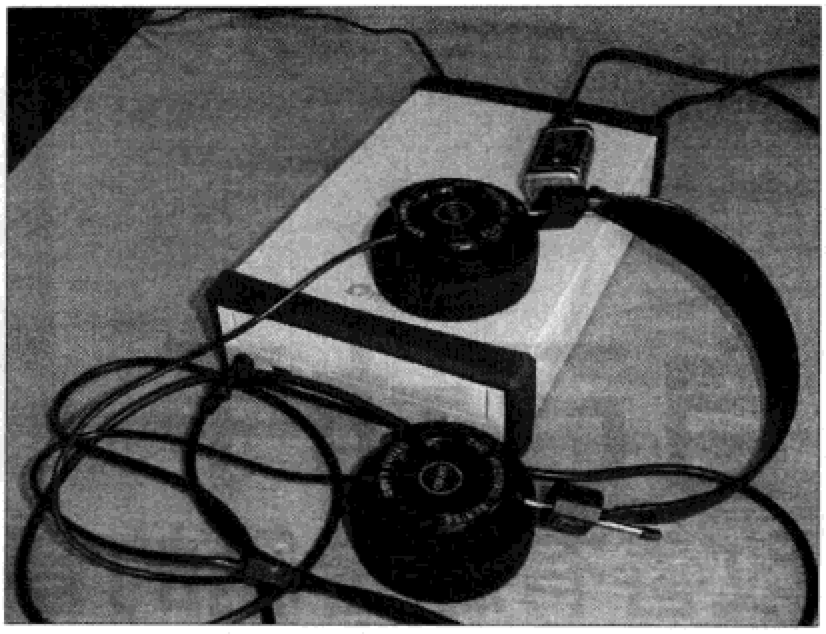


图9 最后装成的耳放以及SR80耳机和MP3

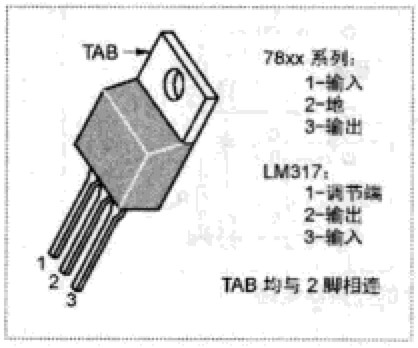


图10

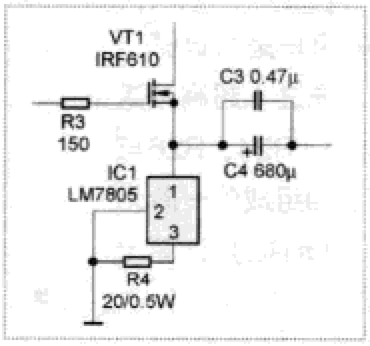


图11

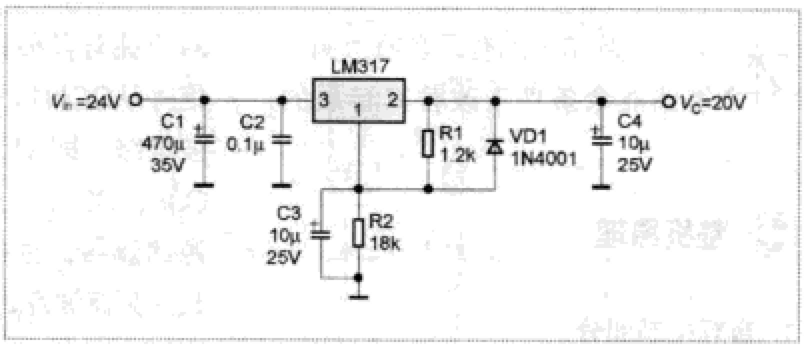


图12

2. 关于这个耳放的供电

最初我使用了一个不稳压的电源适配器给这个DIY的耳放供电，交流声比较大。接着给供电端增加一个电容，功率地和信号地通过并联的一个电容与电阻相连，交流声减弱不少，但是仍然感觉很明显。给供电端再增加一个电容，在供电回路里串联一个小电感，试图进一步减小交流声，但是在音乐间隙，从耳机中仍然能够听到一点惹人烦的交流声。换用一个稳压的电源适配器后，无论是MP3还是电脑作为音源，耳机中再也没有交流声了。

3. 小心弄错了LM317的引脚顺序

LM317与常见的78XX三端稳压器的外形是一样的，价格也相差无几，但是引脚排列顺序却是与78XX系列是不相同的，如图10所示。如果我们不加注意，往往就会“大意失荆州”，阴沟里翻了船。

4. 用作恒流源的LM317也可以用78XX代替

本文中的LM317也可以用78XX系列代替，但是图3中的R4的值要作相应调节。

对于LM317：$I_{OUT}=1.25/R4$，

对于78XX：$I_{OUT}=V_o/R4$，V_o为三端稳压器的标称输出电压，例如采用LM7805，则$V_o=5$。电路连接方式与图1中大致相同，具体如图11所示。

5. 用LM317给耳放做一个低纹波的稳压电源

既然手头准备了LM317，如果手头没有现成的稳压的电源适配器，也不妨给耳放做一个低纹波的稳压电源，如图12所示。

工频变压器次级整流后接V_{in}即可，注意要么采用全波整流（变压器次级有中心抽头时），要么采用桥式整流（变压器次级无中心抽头时），不推荐采用半波整流。V_{in}输入的电压应该不低于24V，不高于37V，电流输入能力不低于0.5A即可。

如果输出电压V_o偏高，可以适当调整R2的阻值（减小），反之略微增加R2即可。

C3就是用来改善LM317的滤波能力的，即降低输出纹波，不需要采用太大的容量，如果有低ESR（Equivalent Series Resistor，等效串联电阻）的品种，1～10μF都是可以的。VD1起保护作用，如果万一输出端短路时，VD1可以迅速放掉C3上存储的电能。

耳放的耗电量不大，盲目增加C1或者C4的容量也并无特别的好处，“大水塘”式的大电容并不适合这里。

◎肖敦金

自己动手
改善有源音箱的音质

本文以一款常见的有源音箱为例，讲述业余条件下改善其音质的方法。

整机原理

1. 音频控制部分

相关的电路如图1所示，这部分电路主要由PT2313（电子音量控制芯片）及外围电路组成。PT2313是四通道芯片，较多用于汽车音响。信噪比可达到95dB以上，声道分离度可达到85dB以上，具有高低音调节、等响度等功能，足以应付家庭使用。从原理图可以看出，实际支持三路信号切换，而厂家只用了两路，这对于拥有多种音源的用户是个遗憾。信号从CON11注入，先进入超高频滤波电路，即R19、R20、R24、R26与C36、C37、C38、C39组成的一阶无源滤波器，依据1/（2πRC）计算出超高频滤波点。

2. 前置放大与功放部分

前置放大部分主要由JRC4558组成，见图1中的IC1A、IC1B、IC1C、IC2A、IC2B、IC2C、IC3A、IC3B、IC3C、这是业内公认的“臭豆腐”。耦合电容采用的是金属膜电容，功放芯片采用的是TDA7265，此芯片可以输出25W×2的功率，看来厂商用料不是很“均匀”的。

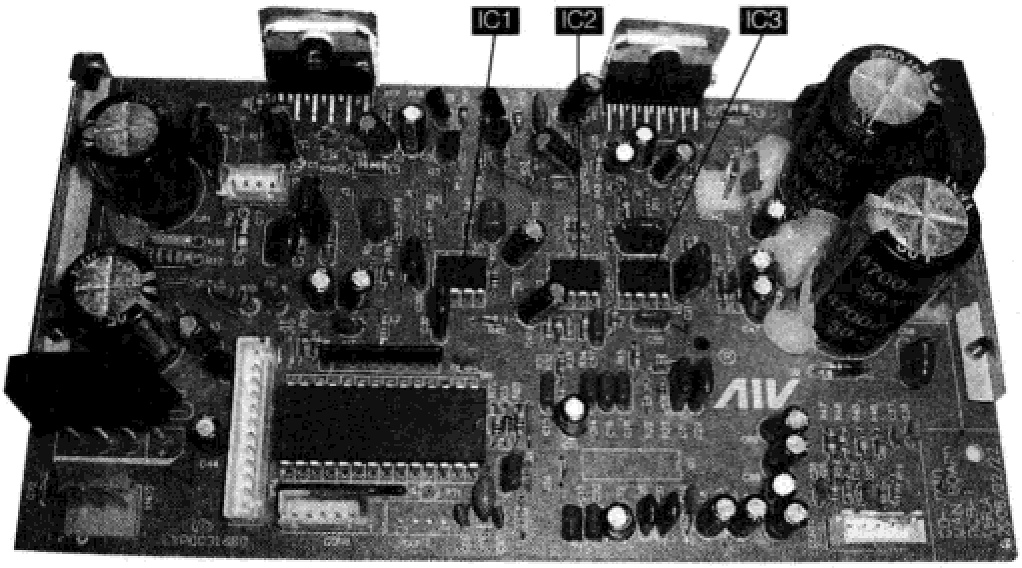


图2 电路板实物图

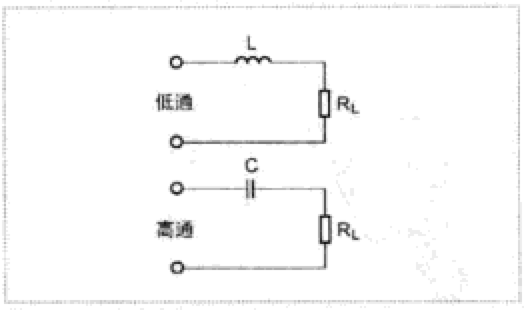


图3 新设计的分频器电路

3. 低通滤波与低音功放

低音功放采用了ST公司的TDA7294，该芯片标称可以达到100W，现用做80W功率，还是留有一定余量的。低音的前置还是采用了JRC4558。低音混合和滤波器做得还是有些特色，用双运放作低音的混合，这种设计对于提高左、右声道的分离度十分有帮助，滤波部分采用的是一个带通组合（高通+低通），市面上的音箱多是只有低通，其实到了20Hz以下频率，低音扬声器已经发不出声了，并且在这段频率里只会消耗更多的能量，做无用功。如果功率储备不足，很容易带来过早失真等问题，而带通组合就能较好的解决这一问题。

4. 主控芯片部分

主控芯片部分采用的是OTP形式的单片机（型号是MDT2020），因这部分电路不做大的改动，所以相关的电路就不再给出了。

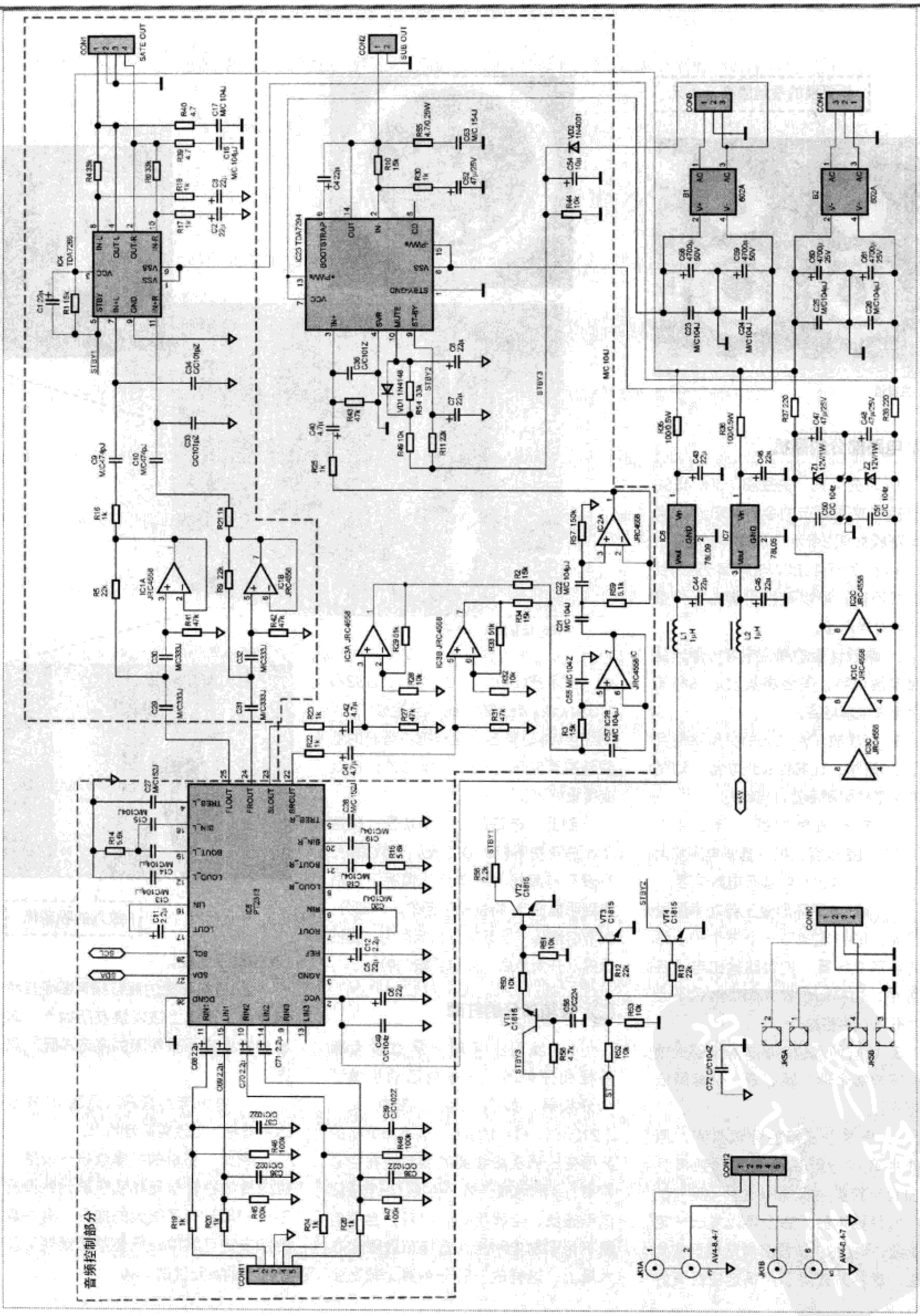


图1 音频控制与放大电路

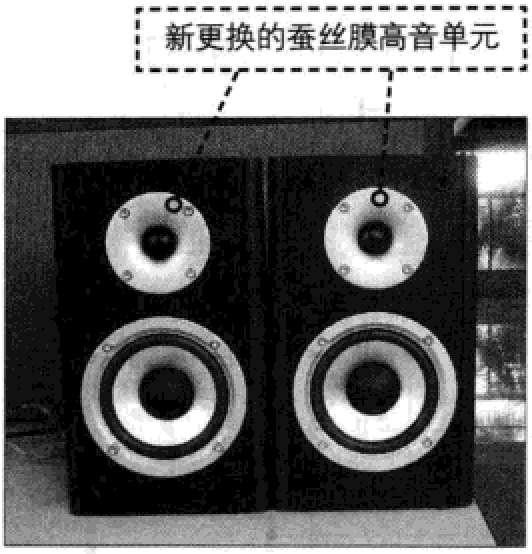


图4 主音箱

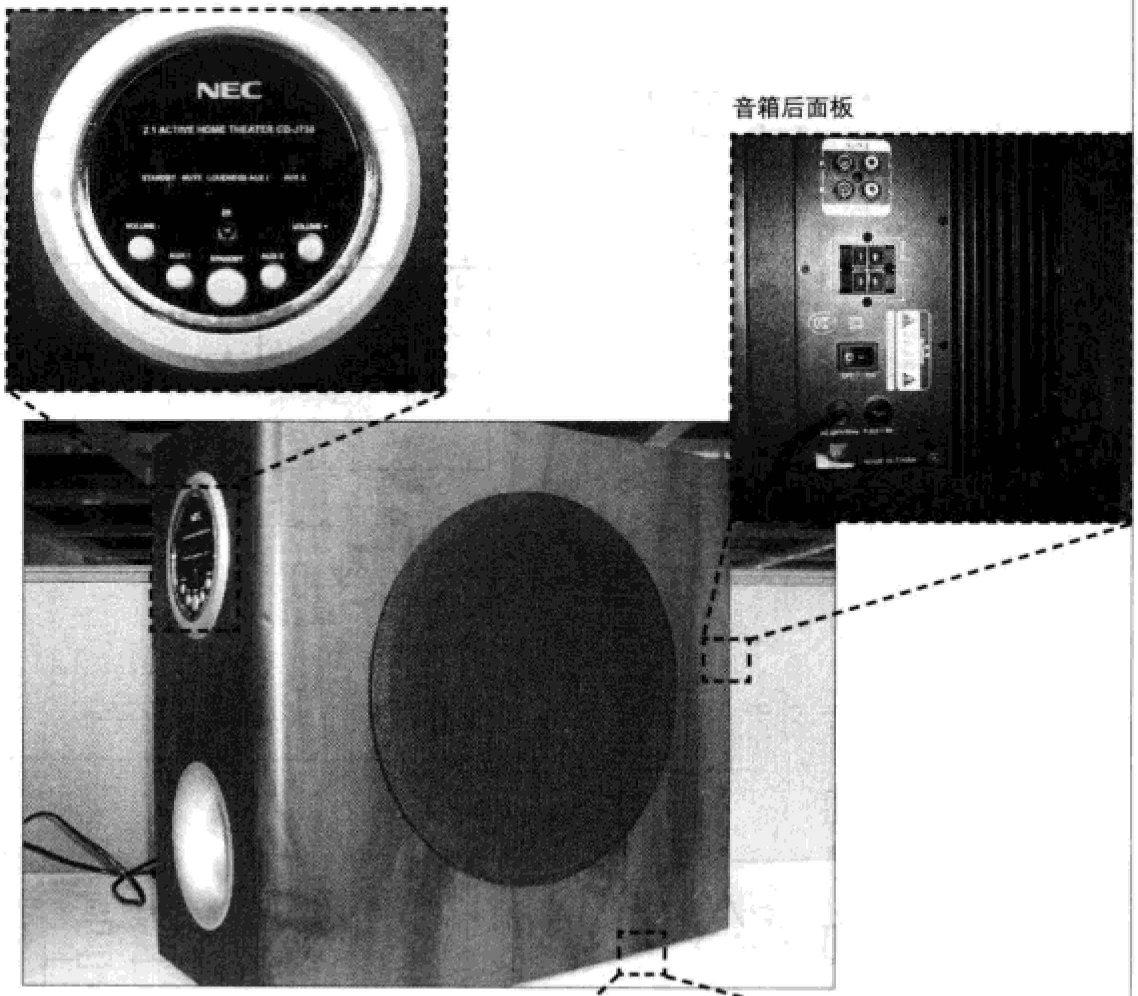
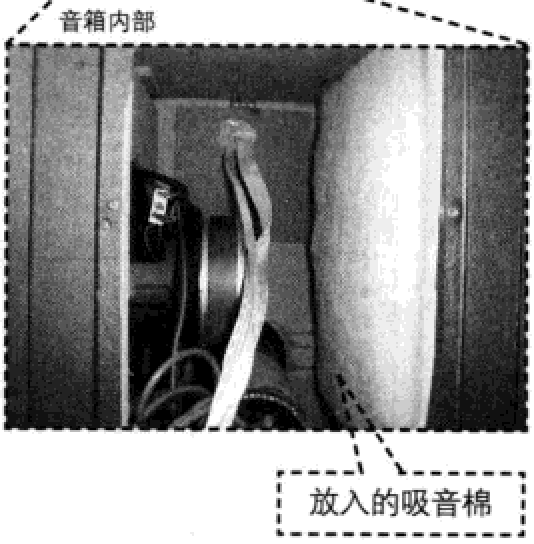


图5 低音炮音箱外观



电路部分的摩机

1. 首先，把“臭豆腐”JRC4558全部换成美国原产的金封AD827，实物电路板如图2所示，即图中的IC1、IC2、IC3。由于AD827与JRC4558的封装形式不同，所以要把引脚进行修整后方可对号入座。

2. 原设计板的耦合电容大部分是普通电解电容，笔者将其改成飞利浦专用音频电解电容。

3. 将功放TDA7265的负反馈电容C2、C3短路，让其做直流功放，短路后中点漂移实测不超过30mV。

4. 在整流桥的每一臂上并入0.1μF的CBB电容，把主滤波电容加大到6800μF，并改用红宝石电解电容。

5. 感觉电源环形变压器功率余量不够大，笔者定制了一个高个子小眼洞的环形变压器，把每路输出电流各提高1A，这样即使在大动态时也不会有力不从心的感觉。

6. 所有输入输出接口座全部更换成纯铜或镀金件，既好看，又能降低连接阻抗。

7. 更改主音箱的分频频率，原设计主音箱与低音箱的分频频率为150Hz，其实主音箱采用了4英寸的中、低频扬声器，完全可以发出一定的低频，再用8英寸低音做低频延伸的补偿，这种方式对于声场定位极有好处。于是把C29、C30、C31、C32四个33 000pF/50V的涤纶电容换成100nF的红色WIMA电容，这样把主音箱的低频延展至50Hz，使中、低频的衔接就变得更好了。

到此，电路部分打摩就告一段落了，总花费不超过 300 元，收效很好，在没有打摩扬声器单元的情况下音质得到明显提升，特别是中频的人声部分，细节感增强，低频部分结实有力，弹性很好（开大声后，邻居要敲门啦）。

音箱部分的打摩

1. 发现主音箱里居然没有吸音棉和分频器，于是自己动手做了个分频器，如图3所示。图中，L=0.212mH，C=10μF。电感用拆机的环形变压器次级线圈的漆包线在空芯骨架上绕制而成，然后再用LCR电桥测试电感值。电容用MKP电容。全部电路不用印制电路板，直接用胶固定在木箱上，这样的一阶分频器比较适合DIYER动手完成。

2. 原机配置的高音扬声器是麦拉扬声器，基本上被发烧友所抛弃，笔者将其换成了蚕丝膜的高音单元，见图4。

3. 在低音炮音箱（见图5）中放入吸音棉，以改善听音效果。

到此，整机的打摩就告一段落。在未更改中音单元和低音单元的情况下，音质已有了很大的提升，有兴趣的朋友还可将中、低音单元更换为其他品牌的单元试试。

音箱基础知识

分频器设计实战——打摩多媒体音箱

◎曾念民

有一款多媒体音箱N-45G，高、低音还算平衡，低音充沛，高音细腻，不足是低音有些生硬，节奏感不强，下潜稍显不够，有些臃肿肥大，中音不够清晰、嘹亮。该款音箱外观典雅，做工精细，因此决定对此音箱进行打摩。

打摩思路

1. 分析电路原理

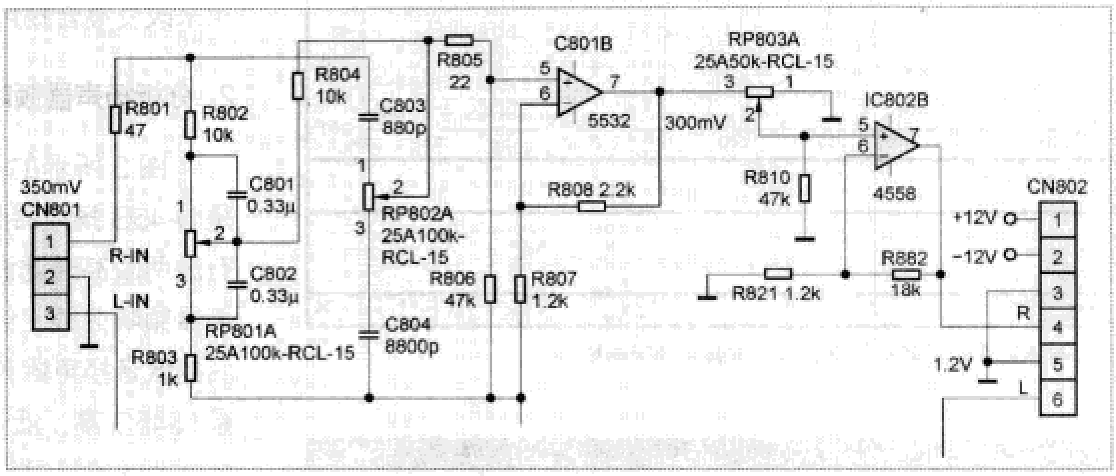


图1 音调电路

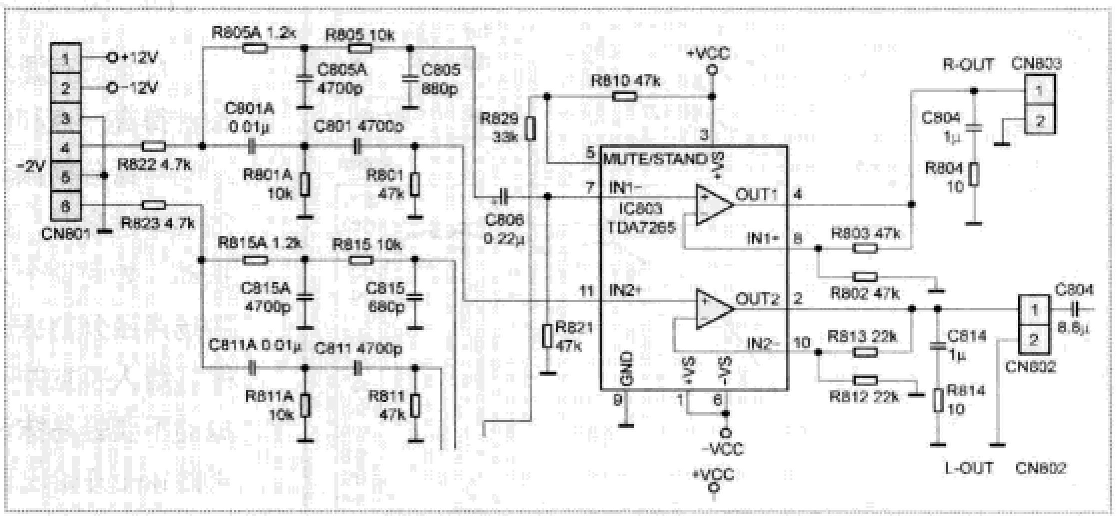


图2 电子分频和功放电路

图1所示的是音调电路，音频信号先到由运放IC801B组成的音调电路进行高、低音调节（以单个声道为例）再送到另一个IC802B运放进行前级放大，RP803A电位器是用来调节音量大小。音频信号经过音调板的高、低音调节和音量处理后送到功放电路板。

图2所示的是电子分频和功放电路，功放电路板音频信号分两路走，一路音频信号经过R805A，C805A，R805，C805组成的有源两阶低通滤波

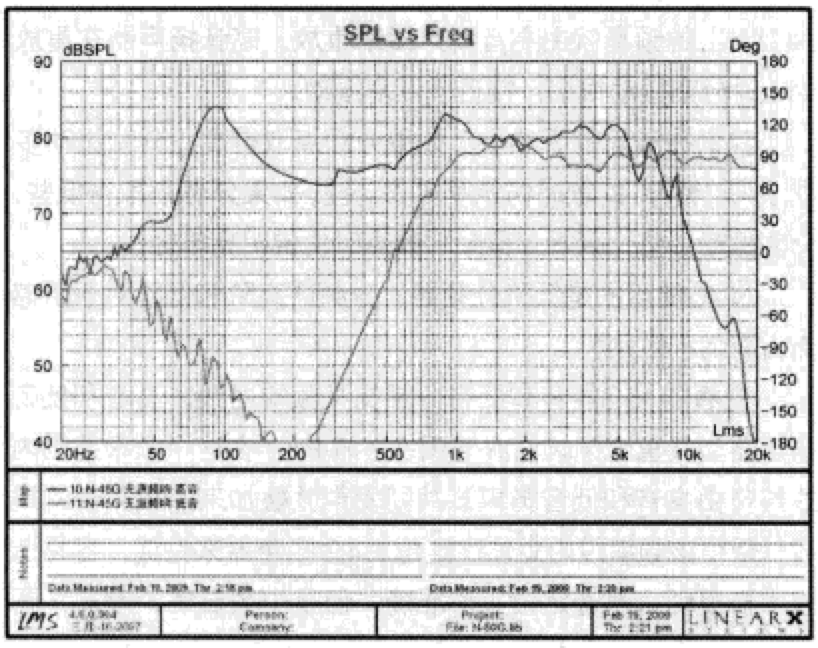


图3 N-45G的扬声器频响曲线

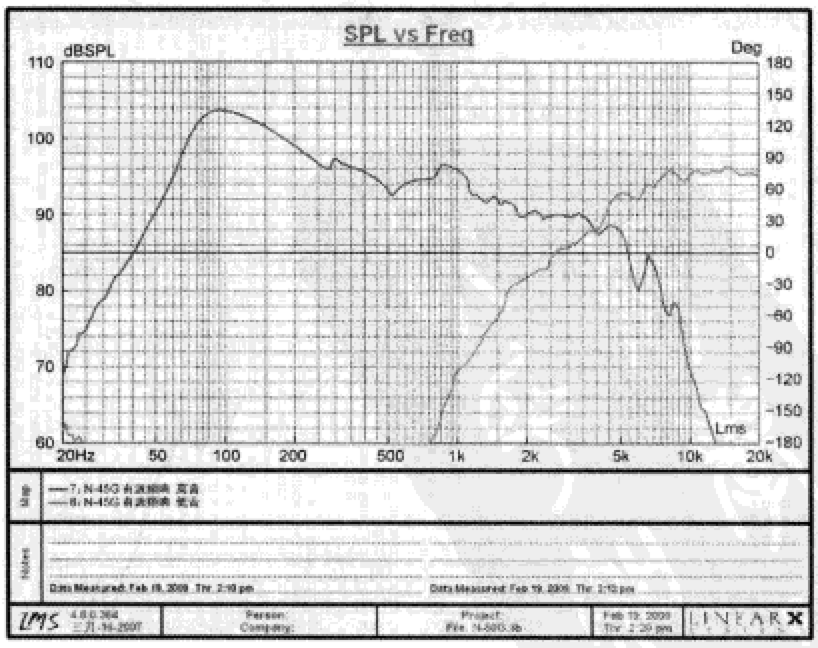


图4 N-45G扬声器频响曲线交叉图

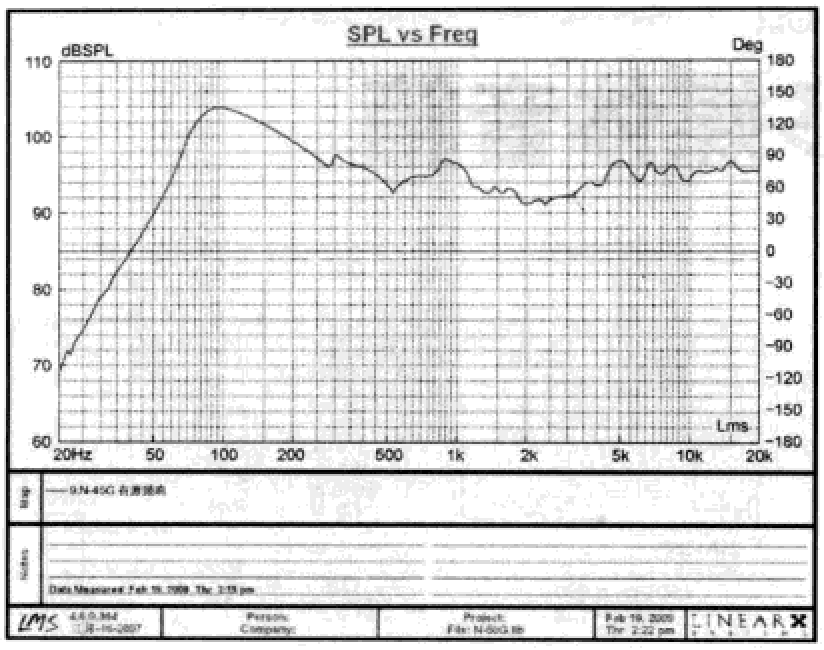


图5 N-45G高、低音扬声器合成后的音箱频响曲线

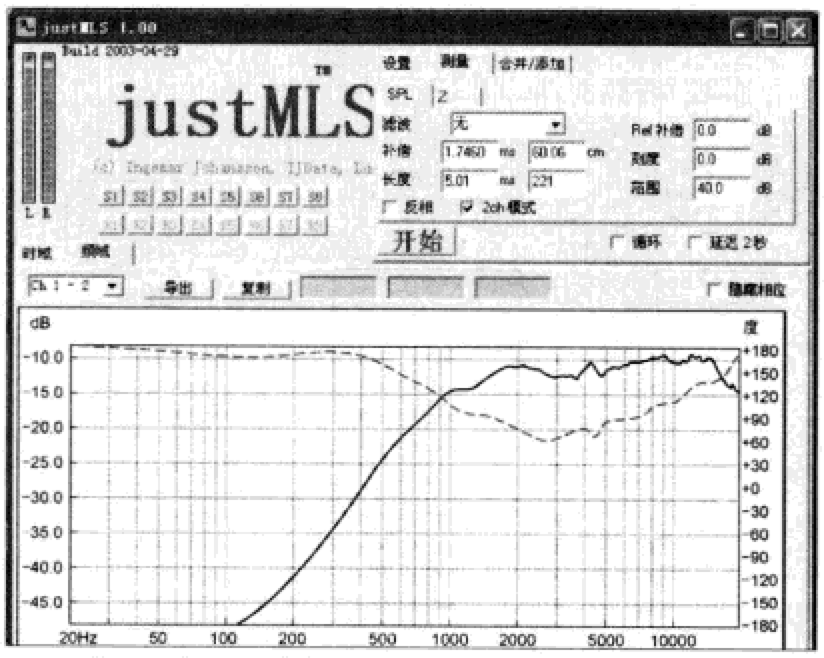


图6 实测N-45G高音频响曲线

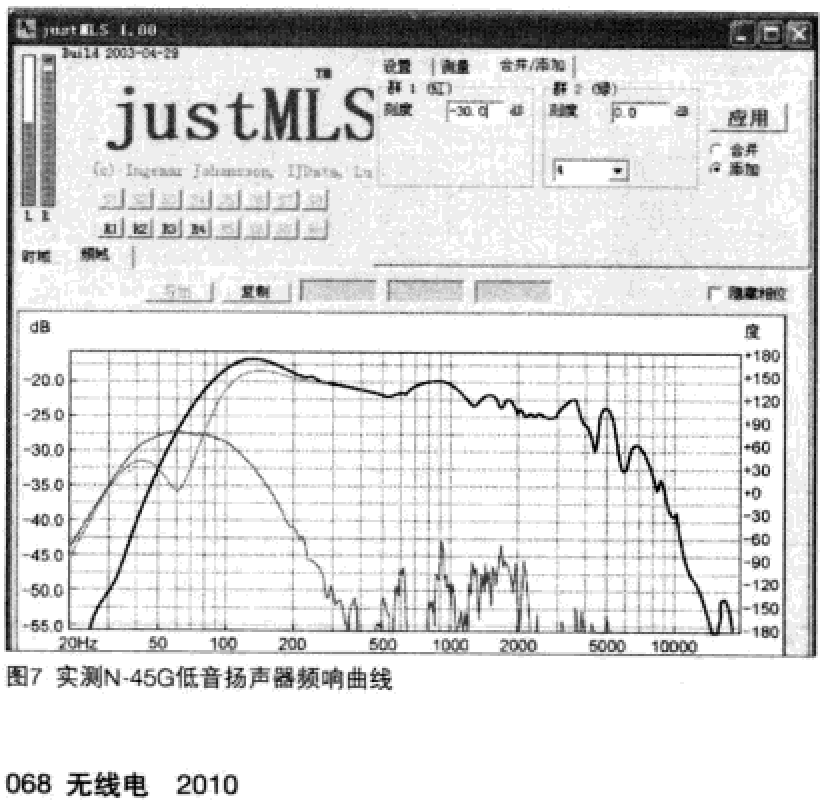


图7 实测N-45G低音扬声器频响曲线

器过滤出低频信号，再送到功放集成电路IC803的7脚进行放大，之后由4脚输出推动低音扬声器工作。另一路音频信号经过R801A，C801A，R801，C801组成的有源两阶高通滤波器滤出高频信号，再送到功放集成电路IC803的11脚放大，之后从2脚输出，再经过C804电容组成的一阶无源滤波器，最后推动高音扬声器工作。由C804组成的一阶无源高通滤波器是用来改变高音扬声器相位的。

2. 分析扬声器频响曲线

图 3 所示的是 N-45G 的扬声器频响曲线，图 4 所示的是 N-45G 扬声器频响曲线交叉图，图中的绿线表示的是经过有源两阶高通滤波器，一阶高通无源滤波器处理后的高音扬声器频响曲线。红线表示的是经过有源两阶低通滤波器处理后的低音扬声器频响曲线，分频交叉点在 4kHz。图 5 所示的是 N-45G 高、低音扬声器合成后的音箱频响曲线，由图看出频响曲线不是很平坦的。

3. 打磨的理论基础

N-45G有源分频器分频点是4kHz。两分频音箱的分频点设计得高一点和低一点对于听感而言会有什么影响呢？这要从扬声器分割振动说起：简单地说分割振动就是当扬声器重放频率过高时，扬声器纸盆的振动会分割成几个“纸盆”在振动，如同一个人在唱歌，变成了几个人“合唱”。一般都将扬声器分割振动看成是失真，但是扬声器的分割振动处理得好给人感觉并不难听，有时还会觉得好听，所以对于分割振动不要轻易抹杀，这是音箱的美学范畴。假如一个低音扬声器1kHz开始出现分割振动，分频点在4kHz，那么1~4kHz的频率重放就是带有分割振动，有分割振动的听感声音不是很清晰，但比较厚实，无分割振动的听感比较清晰，但不够厚实（独唱与合唱的区别）。假如将分频点移动到1kHz，那么1kHz以上的频率就由高音扬声器来重放。高音扬声器在重放1kHz时分割振动很小，接近于活塞振动。

我们在实际的听感中，如果分频点取得高，分割振动多些，则听“蔡琴”的歌时仿佛厚实苍老些。如果分频点取得低些，分割振动少些，则听“蔡琴”歌声时仿佛明亮年轻些。

N-45使用的是低阶分频器。分频器高阶和低阶对于听感而言有何种区别？

先看N-45G高音和低音分频交叉频响曲线。高音和低音扬声器交叉重合频响曲线范围在2~6kHz，在这个频率范围内的声音由高音和低音扬声器共同发声并叠加来完成声音的重放，使得该频率段内立体声定位由4个扬声器来完成，容易造成中音模糊，声音定位不够准确，但是中频自然，厚实，圆润。而高阶分频器由于高低音分离迅速彻底，由4个扬声器来

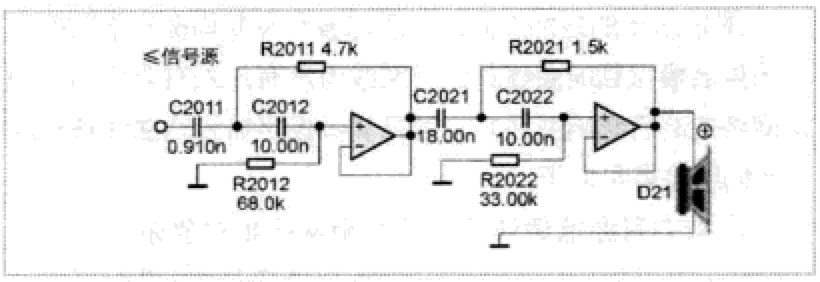


图8 有源4阶高通滤波器

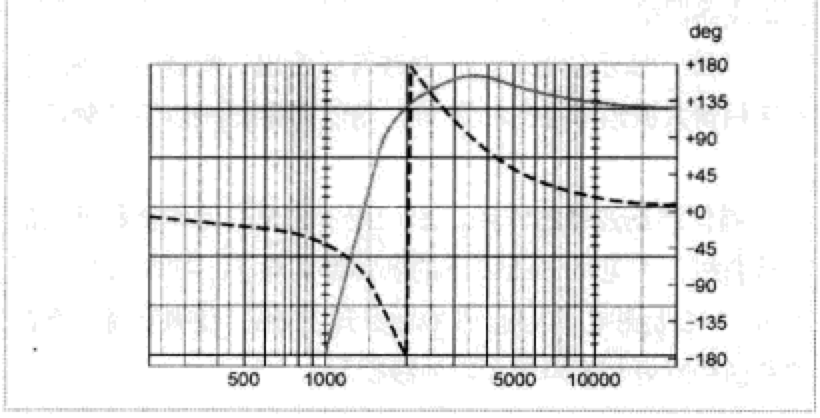


图9 有源高通滤波和有源均衡的增益曲线

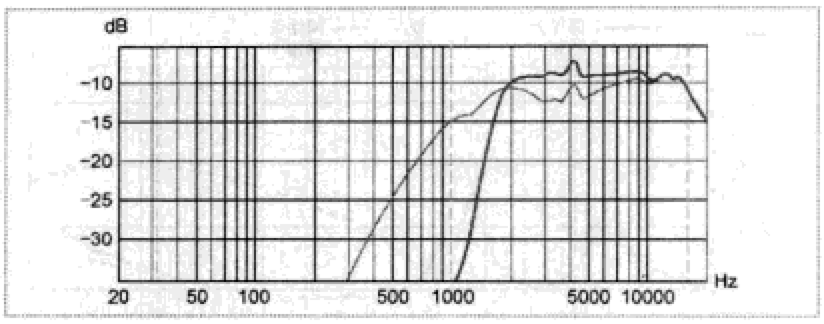


图10 模拟频响曲线对比

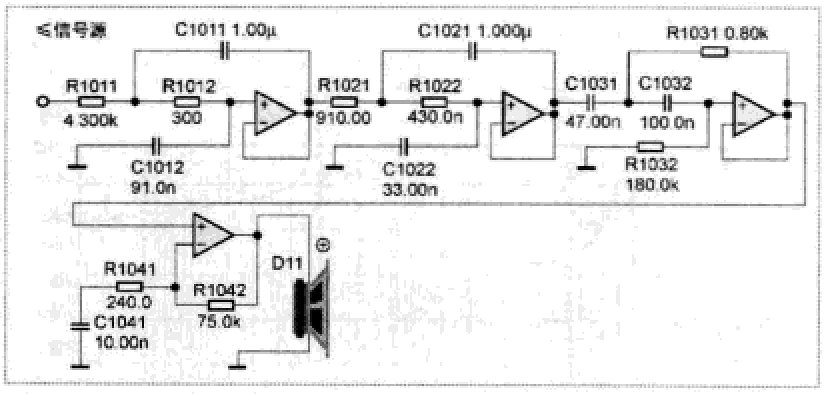


图11 4阶低通滤波器网络

参与立体声定位的频段很窄，大部分都是由两个彻底分离的高音或低音扬声器来定位，中音清晰，声音定位准确，但是中频显得不够自然，厚实和圆润。

低阶分频器由于分离不彻底，高音扬声器窜入低频多，高音扬声器承受功率小，容易烧。高阶分频器分离彻底，高音扬声器窜入低频少，高音扬声器承受功率大，不容易烧。

不能简单地认为高阶分频器就要比低阶分频器好，要根据用途来设计：专业领域注重失真小的喜欢用高阶分频器，而非专业领域注重音箱美学的常用低阶分频器。

N-45G的频响曲线：

从整机频响曲线看，中频在2kHz附近凹下，中频不够厚实。低频在100Hz附近突出很多，造成低音生硬，缺乏节奏感。根据多媒体音箱的用途（打游戏，看电影，听音乐、网络聊天、录音等需求），最后订了一个比较高的打磨目标——将N-45G打摩成一款能基本满足近声场“有源监听”用途的音箱。

有源监听音箱常用技术

1. 高阶分频器：高阶分频器的优点是声音定位准确，中音清晰，失真小，承受功率大，而这些都是有源监听音箱所需要的，所以有源监听音箱至少采用4阶以上有源分频器。

2. 有源均衡补偿技术：由于受到扬声器制作技术的影响，音箱的频响曲线大多不平坦，通过有源均衡补偿技术，针对音箱系统的频响曲线设计出和音箱频响曲线相反的均衡补偿网络，最终得到平坦的音箱曲线。

3. 低频切除技术：由倒相音箱原理可知，低于倒相管共振频率的声音会被“抵消”。为了提高低音扬声器的功率并减少失真，需要将低于倒相管共振频率的声音切除。

以上为有源监听音箱常用的技术，当然有源监听音箱还使用了很多本文没有介绍的技术，比如：高音导波号角、环境补偿调整开关等。由于这些技术实现起来难度较高，这次简单的打摩就不采用这些太复杂的技术了，结合自身的条件只采用高阶分频器、有源均衡补偿、低切这三种技术。

打摩步骤

1. 测试扬声器频响和相位

利用《无线电》杂志2010年第5期上提供的测试套件，可以测试扬声器的频响和相位。图6所示的是实测N-45G高音频响曲线（由于是业余测试条件，12kHz以上频响只是参考），图7所示的是实测N-45G低音扬声器频响曲线，对于有源均衡的设计已经基本能满足要求。

2. LSPCAD模拟计算

将测试结果导入LSPCAD，模拟计算出有源分频器和有源均衡补偿各元件的参数。

图8所示的是模拟计算出N-45G有源4阶高通滤波器和有源均衡的元件参数。

图9所示的是有源高通滤波和有源均衡的增益曲线，基本上对高音扬声器没有过多的补偿，只是在3.5kHz提升了4dB。

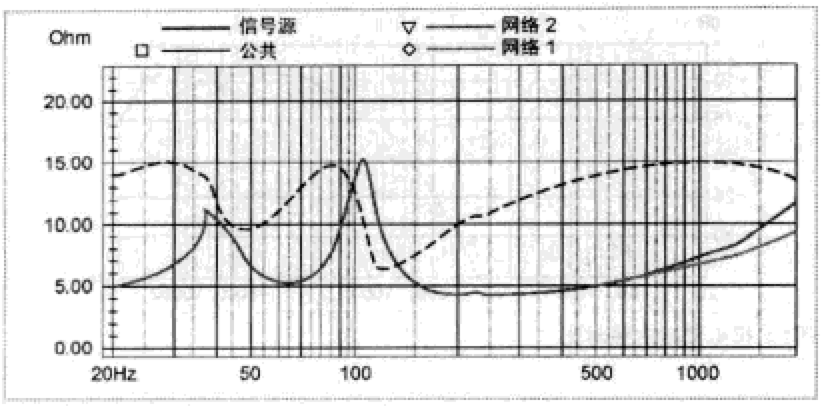


图12 低音阻抗曲线

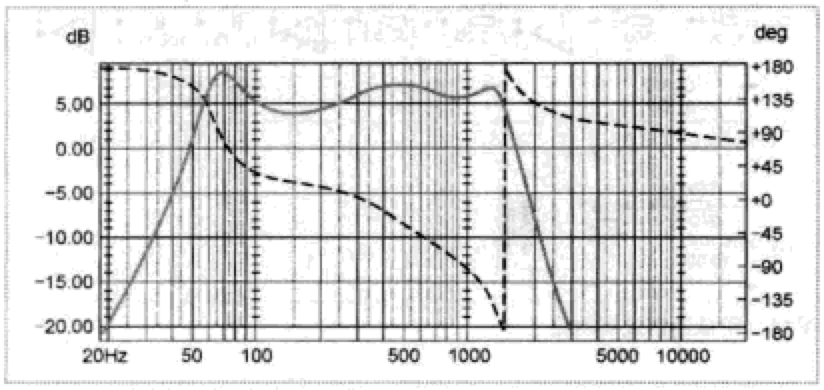


图13 有源均衡和低切的增益曲线

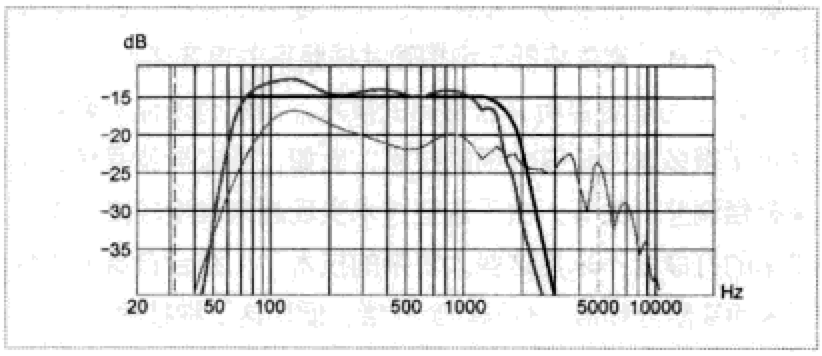


图14 低音扬声器频响曲线

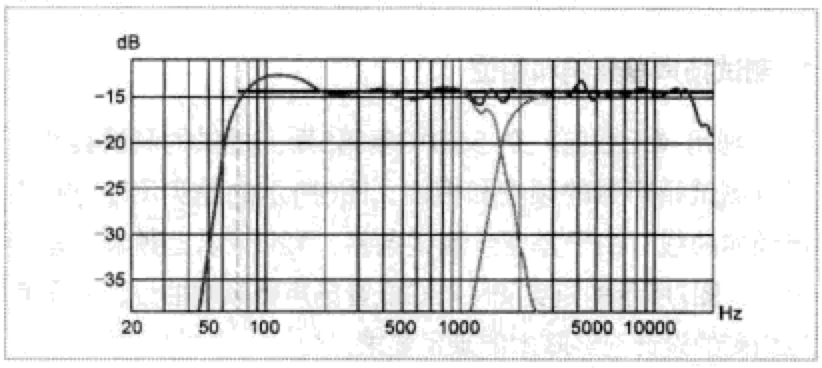


图15 模拟高、低音扬声器合成后的最终音箱曲线

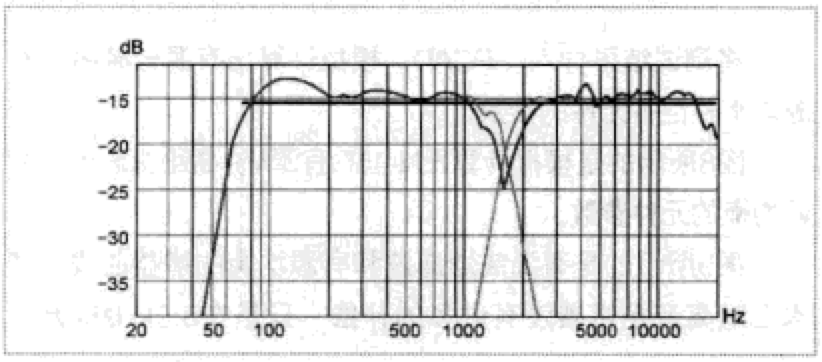


图16 模拟反接高音扬声器后的频响曲线

图10所示的是加入高通有源滤波和有源均衡网络后的高音扬声器模拟频响曲线对比（细线为没有加入有源分频和均衡网络的高音频响曲线），可见高音扬声器频响曲线被有源均衡网络拉得平坦了。

N-45G有源低通滤波器和均衡网络相对复杂些，其中R1031，R1032，C1031，C1032组成低音有源均衡和低切，R1041，R1042，C1041组成中音有源补偿，其余组成4阶低通滤波器网络，如图11所示。

从图12所示的低音阻抗曲线可以看出，双峰中的谷对应着倒相管共振频率在60Hz附近，用低切将55Hz以下的频率切除。

看低通滤波器的作用，图13所示的是有源均衡和低切的增益曲线，可见将55Hz以下的低频都切除了，把70Hz提升了3dB，120Hz删减了2dB，500Hz提升2.5dB，使得有源均衡的增益曲线刚好和扬声器频响曲线相反。

加入低通滤波器、有源均衡和低切后，将低音扬声器频响曲线拉成平坦的模拟，如图14所示，图中的细红线为未加低通滤波器和有源均衡以及低切的低音扬声器频响曲线。

图15所示的是模拟高、低音扬声器合成后的最终音箱曲线。

图16所示的是模拟反接高音扬声器后的频响曲线，有一个很深的谷，表明高、低音扬声器相位正确。

3. 打磨实战

根据计算好的元件参数设计出电路图，如图17所示，并制作出PCB，如图18所示。

在原有的功放板和分频电路板上开两个等距离的孔，在功放板上装铜柱，再把分频器电路板装在铜柱上用螺丝固定好。

断开原有功放板上的音频输入，接上有源分频器电路板上的电源线、地线和输入、输出信号线，并加耦合电容，如图19所示（低音通道1μF，高音通道0.1μF）。

在电容背面垫层双面胶，将其粘牢防止引脚短路和元件受扬声器震动脱落。

取下高音扬声器上的6.8μF补偿电容。然后可以恢复原位，可以开机试听一下效果，至此总体部分已经打摩完毕，接下来就是一些小小的细化工作：试听后发现噪声有点大，在运放电源端旁边加了两个退耦电容，见图20，再试听噪声已经很小了。变压器和前级部分就不屏蔽了，要求高的可以做这方面的细化工作。

由于是监听音箱，板上的高、低音的音调电路部分就不需要了，用两跟线跳过音调电路，见图21。背板上不牢固的地方用AB胶粘牢。

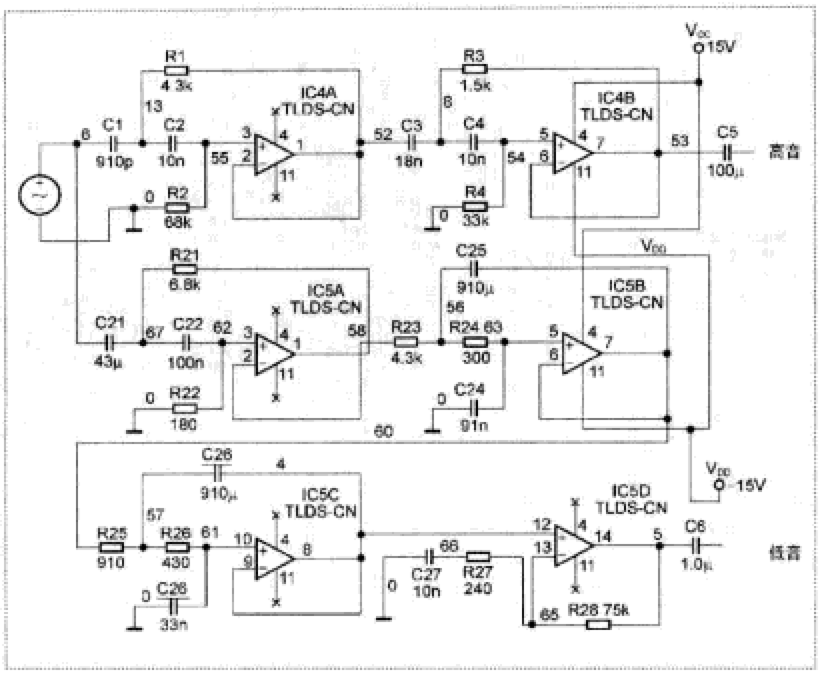


图17 电子分频器电路

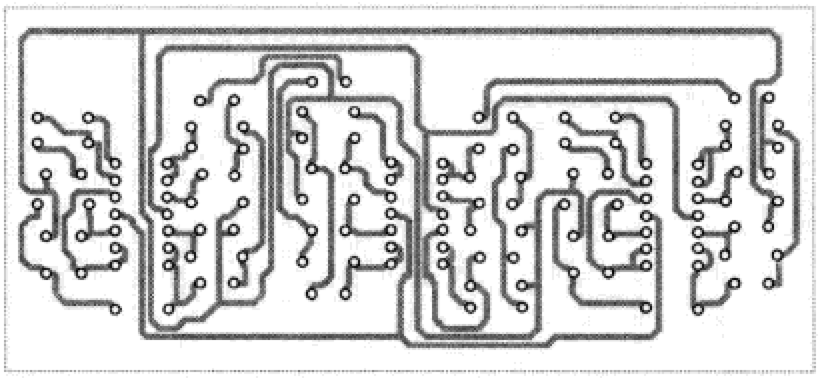


图18 电子分频器电路的PCB

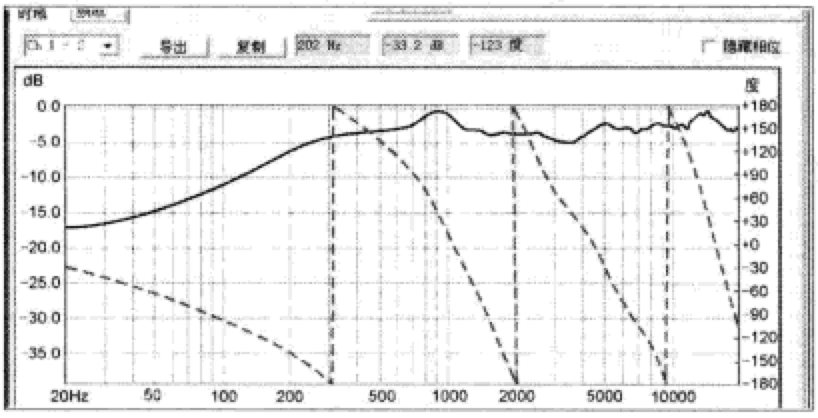


图22

摩机成本核算

打摩项目	所需物料	数量	单价	费用
分频电路	TL084运放	3片	3元	9元
分频电路板	PCB	1块	8元	8元
分频电路	电容，电阻	1批	13元	13元
防止音箱漏气	AB胶水	1组	2.5元	2.5元
电源优化	电容	1批	4元	4元
总计				36.5元

由于有源均衡补偿提升了低频部分，吸音材料需要加点，可以稍许减少倒相管气流声（增加约一倍的吸音棉），使低音清晰些。

最后正式复原全部拆开的部件，如果有垫片破损的，装回去漏气的可以用橡皮泥来补上。

由于多增加了几个运放，前级供电不够，可以减少前级稳压电阻或改成了三端稳压集成块供电。

由于低音有源均衡补偿设计得好，音箱震动不大，我就不在箱体内部涂沥青阻尼，如不怕麻烦的可以试一下。

图22所示的是打摩后的频响曲线（±2.5dB以内），根据经验实测的频响曲线是很接近模拟频响曲线，而低频部分是要和远近声场外加倒相管合成，比较麻烦就不测试了。

打摩后试听

声音平衡感好了些，中音比原来的亮了点，声音清晰了点，低音没有原来生硬，低频下潜多了一点，节奏感强了点，由于低切的作用低频的动态和控制力改善明显。原先低音凸出人声厚实圆润的特点没有了（某些人可能不喜欢），但这就是监听音箱的风格——监听音箱比较讲究声音的真实直白。

总共花费36.5元，打摩后的音质效果绝对超过换一堆的补品元件的。通过对N-45G的实战打摩，对分频器的原理、有源均衡和监听音箱的设计理念有了比较充分理解，打摩后对音箱的音质改善是非常明显的，有三诺N-45G音箱的朋友可不妨一试。

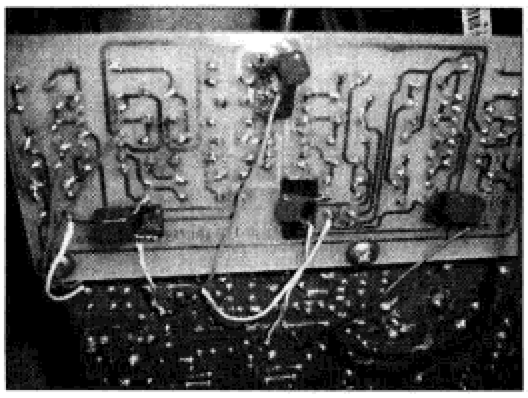


图19

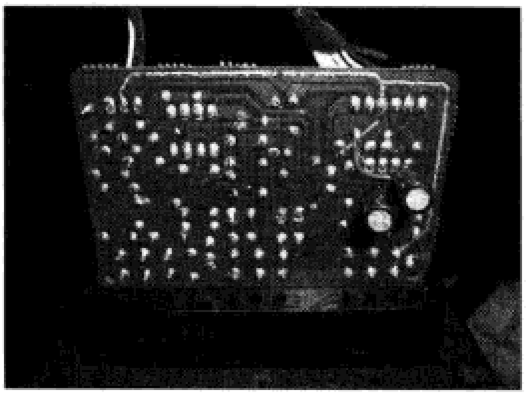


图20

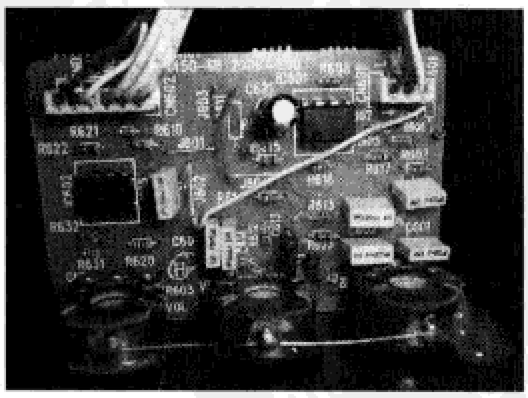


图21

编者按：在今年第6期本刊介绍了Clair 音箱的制作，文章刊出后引起很多音响爱好者的关注，为此我们隆重推出Clair音箱的制作套件。Clair取自法语，表示明亮和纯净，这个词正好也表达了Clair 音箱的整个设计定位。

Clair（克莱）6.5英寸书架箱套件

◎郁志扬

Clair音箱套件的特点

1. 优质的扬声器单元

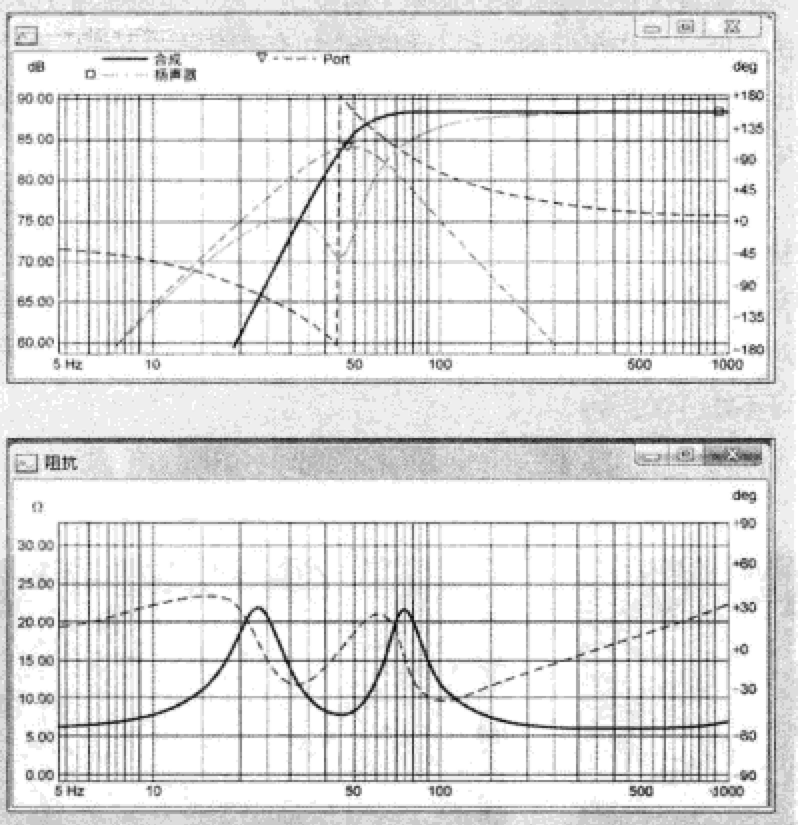
音箱套件中采用的是挪威SEAS扬声器单元。高音采用SEAS prestige系列中的新款27TBCD/GB-DXT（H1499-06），简称H1499，低音沿用了SR71设计所选的ER18RNX（H1456-08），简称H1456。由于这两款扬声器单元的技术参数已在6期上做过详细介绍，因此本文就不再赘述。

2. 出色的箱体设计

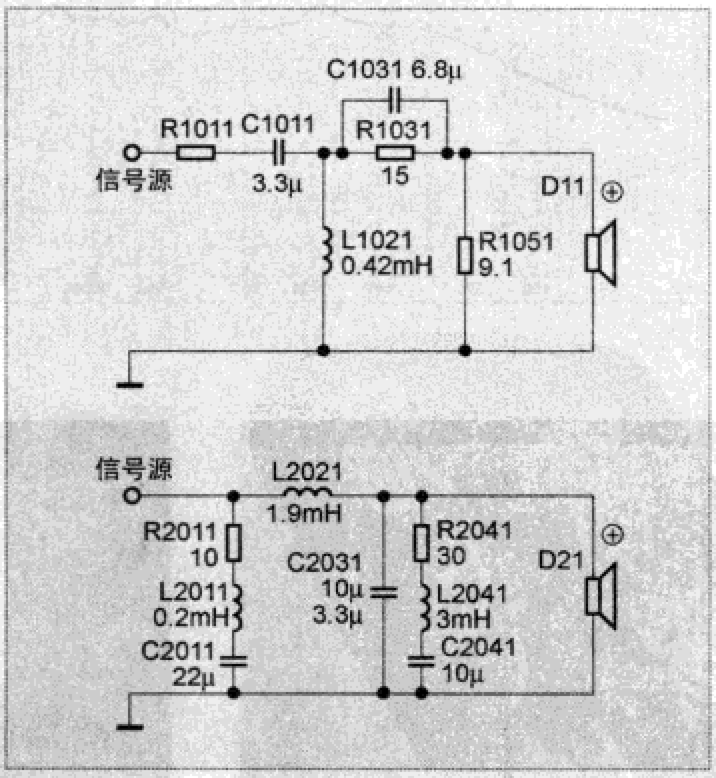
箱体设计在低频下潜上做了一些牺牲，低频下限 50Hz（-3dB）目的是换取更好的瞬态，实际上低音会更有质感、速度感和透明度，可以和H1456透明、宽松的中频保持一致。另外，片面追求一个6.5英寸单元拥有更低的低频下潜是不切实际的，因为6.5英寸单元等效震动面积和冲程都有限，设计过低的下限反而会造成增加失真。

由于高音采用DXT技术，箱体前障板降低了箱体衍射造成的影响，使得设计得以简洁化，可以在箱体四周做简单的圆弧倒角处理。

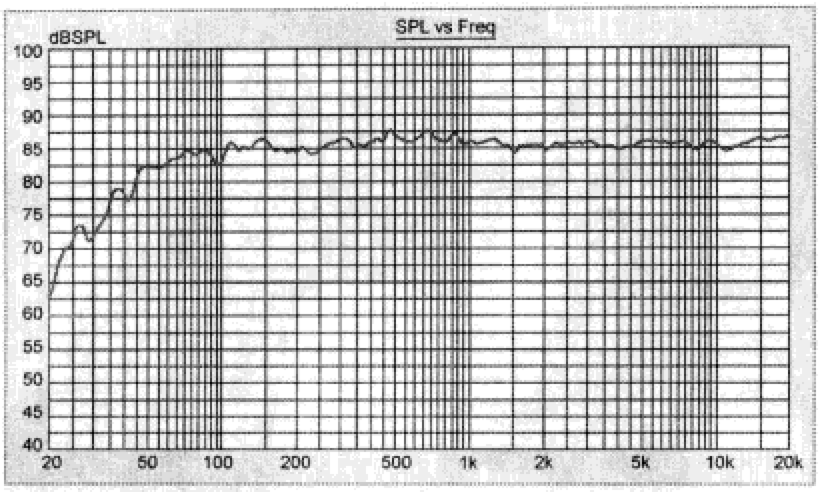
箱体板材的选取与处理对音箱音质的影响较大，要求具



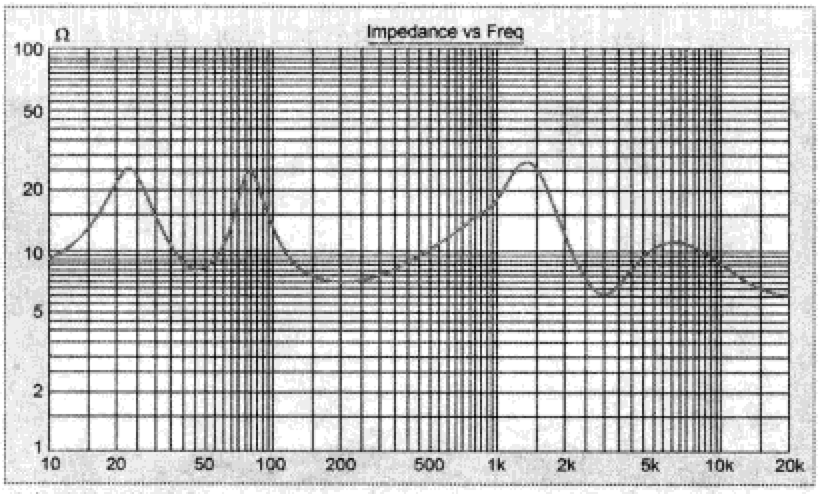
用LSPCAD软件对箱体的仿真测试



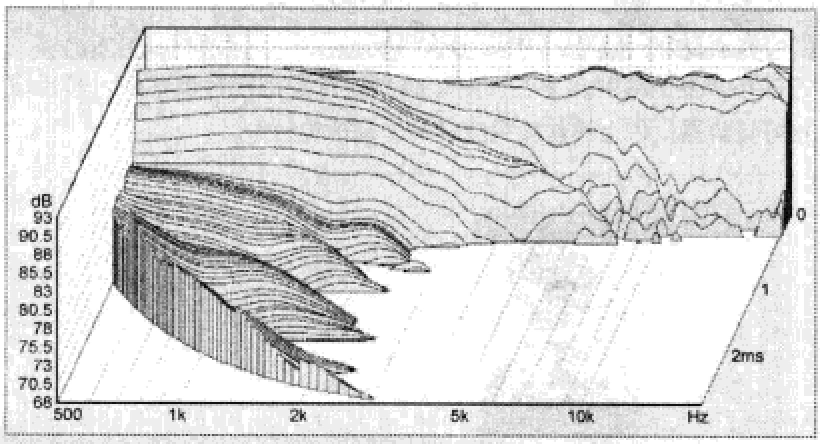
分频器电路图（此图纸只作参考，随套件所附的图纸会略有修改）



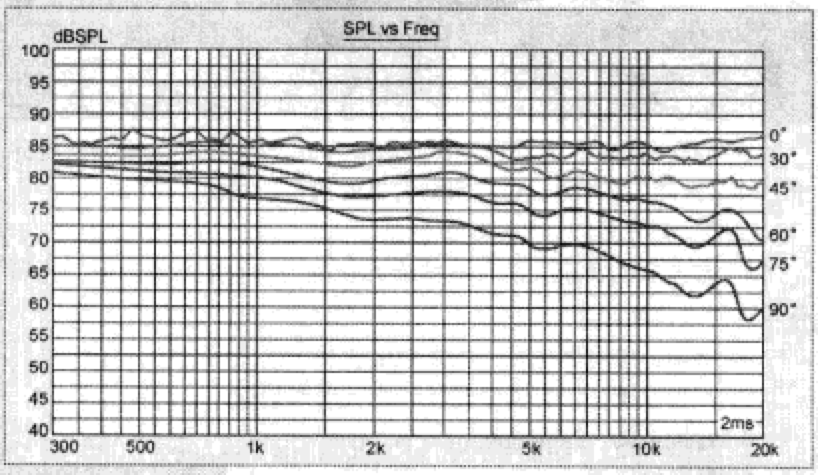
分频器的频响测试图　　f（Hz）



分频器的阻抗测试图　　f（Hz）

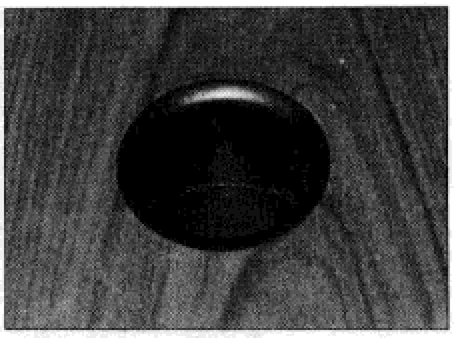


分频器的瀑布图　　f（Hz）



分频器的离轴响应图　　f（Hz）

有相当的刚性与内阻尼。目前常见的板材是中高密度板，厚度建议不小于18mm。本款采用比普通中密度板更好的优质奥松板，另外箱内增加两道加强筋，目的是尽可能降低箱震的影响，以获得更低的音染，发挥单元优点。倒相孔开口应尽量做圆弧处理，以降低大动态气流问题。



倒相孔开口

外观采用优质原木贴皮，可以选择樱桃、黑胡桃、酸枝、枫木四种不同的木皮以满足用户的不同需求。

3. 均衡的分频器设计

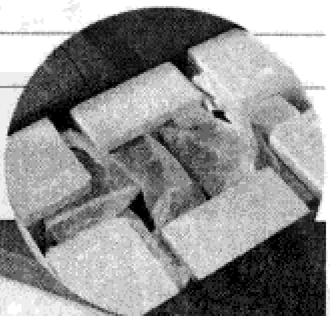
由于扬声器单元的曲线较为平滑，分频器设计的自由度很大，分频器高音网络设计为3阶形式，低音网络设计为2阶形式，分频点约为2.3kHz。分频器的选料方面要特别注重中低频电感的直流内阻，过大的直流内阻会降低系统的阻尼系数，也会使主观听感变差，这可以通过采用带铁芯的电感来解决。本款的电感和无极性电解电容采用BENNIC的产品，性能优良。薄膜电容采用定制的“AUNE”品牌MKP电容，性能优异，正切损耗角极小。分频器电路板设计合理，各电感安装位置尽可能拉开距离，并且相互垂直避免互感影响。

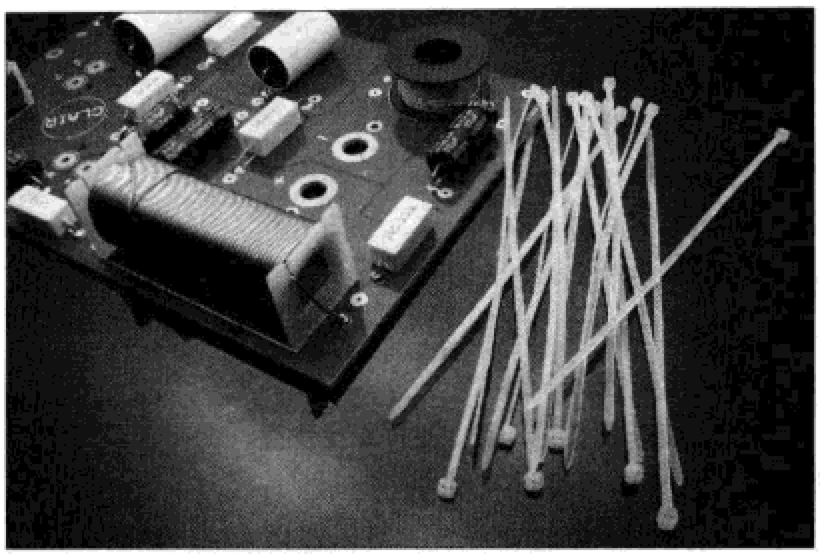
从测试结果可知，频率响应还是十分平滑的，低频下限为50Hz（-3dB），与设计值是吻合的，同时得到86.5dB的灵敏度，也比较适中的。瀑布图后沿比较干净，表示会拥有比较透明的声音。通过理解DXT技术的优点，摆位也会比较方便，同时预示着音箱会有良好的声场还原能力。

尽管Clair音箱拥有良好的技术指标，但根据个人喜好进行主观调整仍然是必不可少的，这也是DIY个性化的一种展现。

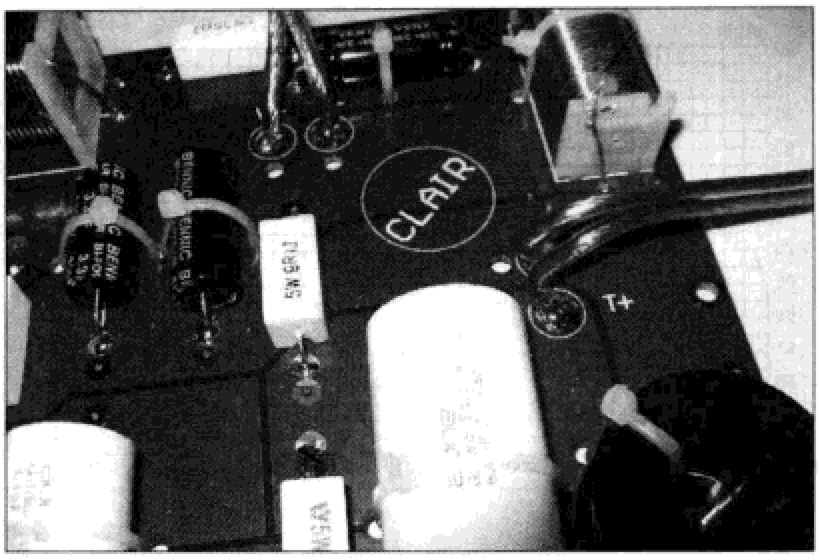
音箱套件DIY实战

Clair音箱套件分两个包装，一个为扬声器单元与分频器包装，另一个为箱体包装。

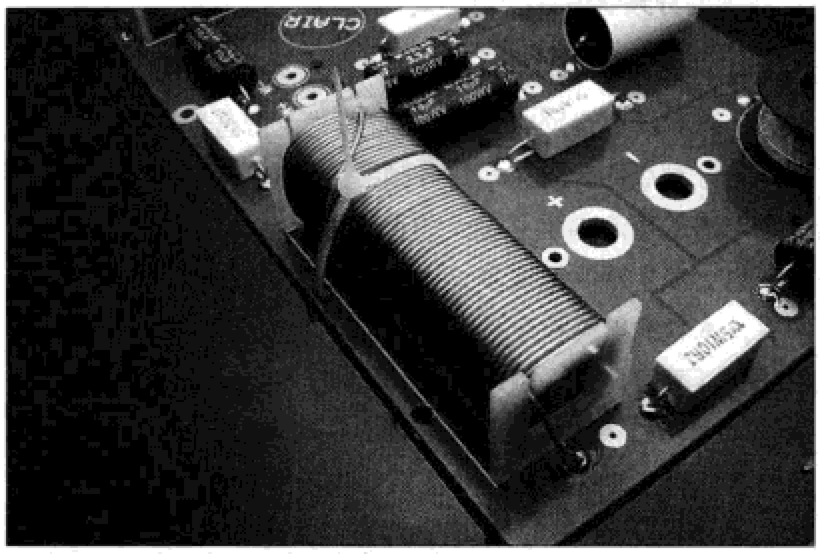




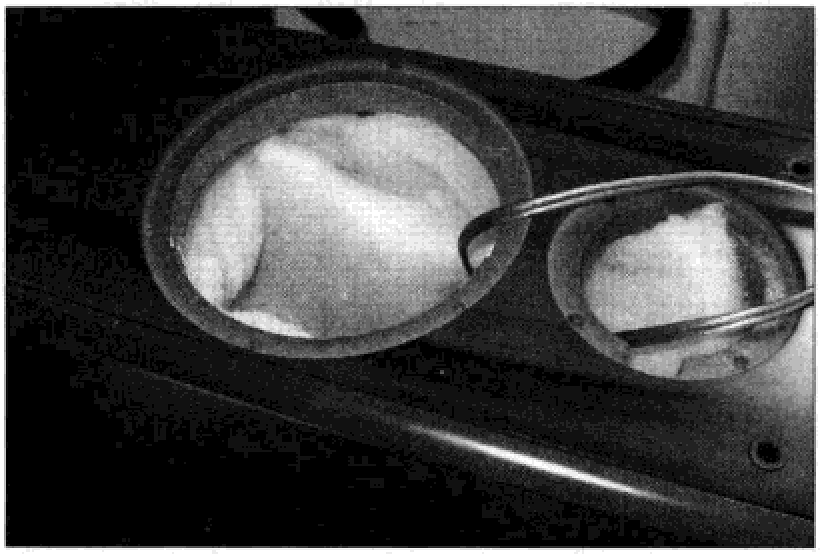
首先按照图纸焊接分频器，注意电烙铁的功率要求50W以上，否则可能会因为温度不够造成虚焊，引起各种稀奇古怪的故障。



把分频器安装到箱子内部，用三枚自攻螺丝以及两个音箱接线柱固定在背板上，接线时一定记住把扬声器的正、负端，做好记号。



焊接完成后请一定用尼龙扎带把元器件固定好。



把接扬声器的线穿出来，同时也特别注意要把密封垫粘好。最后焊接好扬声器，拧上螺丝就完成了一个音箱的制作。

箱体特别采用了奥松板和内贴木皮。

Clair样品箱在仪器测试完成后还请了一些发烧友进行了主观评价，并与几款1~5万元价位的进口音箱做过试听对比。

几位发烧友对Clair音箱的评价是：

1. 音色宽松透明，具有高档箱的贵气，特别是高频部分，比所有对比的进口箱更宽松。

2. 低频下潜像倒相箱，低频清晰度却像密闭箱。

3. 声音平衡，没有哪个频段特别突出或薄弱。

4. 音场宽阔，结像清晰。

5. 皇帝位较宽，偏离中心时，结像位置几乎不变。

6. 容易推动，普通功放也能推出饱满有质感的声音。

套件销售

套件价格：套件价格为2980元（因为套件重量为23kg，所以运输费用为100元，偏远地区的用户必须到就近大城市自提）

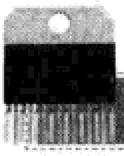
购买方式：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明Clair音箱套件和汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

TDA7293 芯片主从并联的应用

◎刘昆鹏



TDA7293芯片的主要参数

标称最大输出功率：100W
最低失真度THD：0.005%
极限工作电压：±60V
推荐工作电压：±40V(8Ω)±29V(4Ω)
输出电流：0～6.5A

TDA7293是ST公司出品的一款大功率高电压DMOS高保真功放芯片，额定输出功率为100W。最大工作电压为120V。

TDA7293内部结构分为三级：差分输入级由双极型晶体管组成，推动级和功率输出级由场效应管组成，这种结构兼顾了双极信号处理电路和MOS功率管的特点，具有低失真、低噪声、高耐压以及开关机静音、过热保护、短路保护等优点，芯片各管脚功能如图1所示。

别具一格的并联工作模式

在众多全集成功放芯片中，TDA7293 是最出类拔萃的，只要你听过它的声音，都会被它那平衡、大气的声音所震撼，也会被它那细腻、圆润的声音所折服，更会被它那平易近人的价格所为之心动！其实 TDA7293 带给我们的惊喜还远不止这些，最值得它傲视群雄的杀手锏要数“主从并联”这一功能了。到目前为止还没有其他类似功能的音频功率芯片可与它比拟。说了这么多，什么是主从并联呢？

简单地说，主从并联就是指两个或者两个以上的芯片并联协同工作，其中的一个芯片从输入到输出的全部电路都在工作，这个芯片就被称之为主芯片，而与主芯片并联的其他芯片的前级部分被屏蔽，只有后级的功率输出部分在工作，这样的芯片则被称之为从芯片。以这种形式工作的模式被称

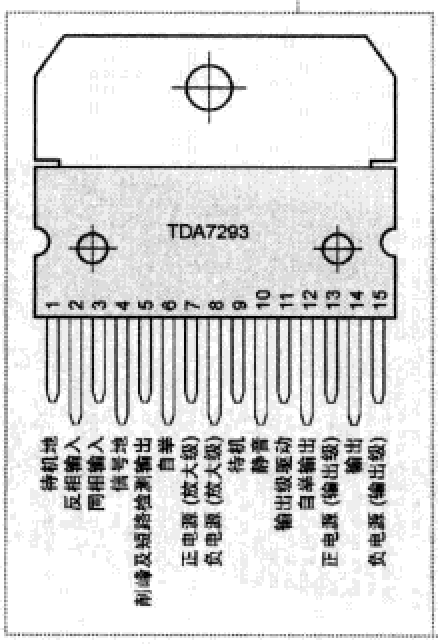


图1 芯片各管脚功能

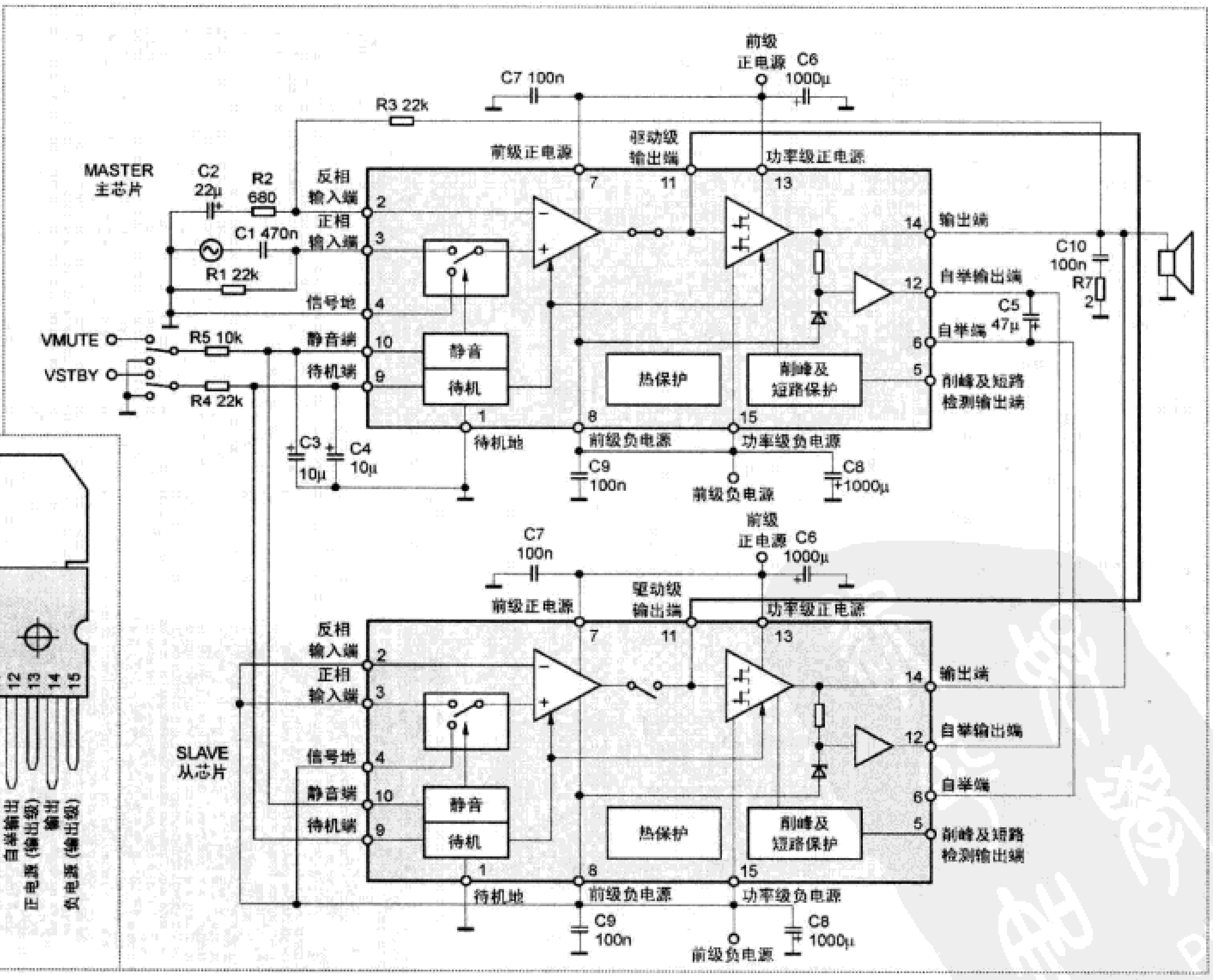


图2 TDA7293的并联工作原理图

为主从并联。

TDA7293所独有的主从并联模式，克服了传统集成芯片在遇到大动态信号或者大功率音箱时显得力不从心的问题，并联在一起的两个或者两个以上的功率输出后级，具备了2倍或2倍以上的电流输出能力，在对付大动态信号或者大功率音箱时游刃有余。并联工作的另一大好处就是多个芯片平均分担了输出功率，使单个芯片的发热量更低，失真更小。与单芯片的比较，实际听音效果是高音更纤细，中音更圆润，低音更震撼。

图2所示的是官方推荐的并联工作原理图，从图中可以看出，TDA7293的9脚和10脚分别经电阻和开关来控制待机与静音。由于TDA7293芯片对待机和静音有时序要求，如果按照图2所示电路来设计电路板，使用时是非常不方便的。于是在实际应用中，将待机与静音的部分电路又做了改进，如图3所示，即由3只电阻、2只电容和1只二极管来配合芯片完成开关机的自动静音。

实际应用时的电路原理图如图4所示，该图是根据ST意法半导体公司推荐的原理图绘制而成的。此电路具有工作稳定、制作简单、成功率高、无需调试、音质优良等特点，是DIY时首选的电路。图中C1为输入电容，R1为输入电阻，C3、C4、R2 、R5 、R6、VD1构成开关机静噪电路。整个电路的放大倍数由R3和R4决定（32倍左右）。C2是反馈电容，C7是自举电容，C10和R7组成吸收网络，电容C5、C6、C8、C11为高频退耦电容，C9、C12为低频退耦电容。整个电路所需要的元器件参数如附表所示。

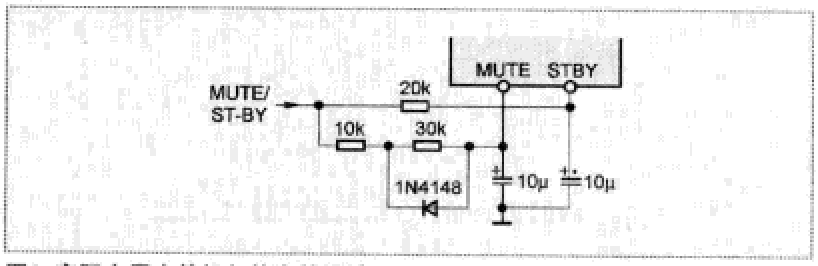


图3 实际应用中待机与静音的设计

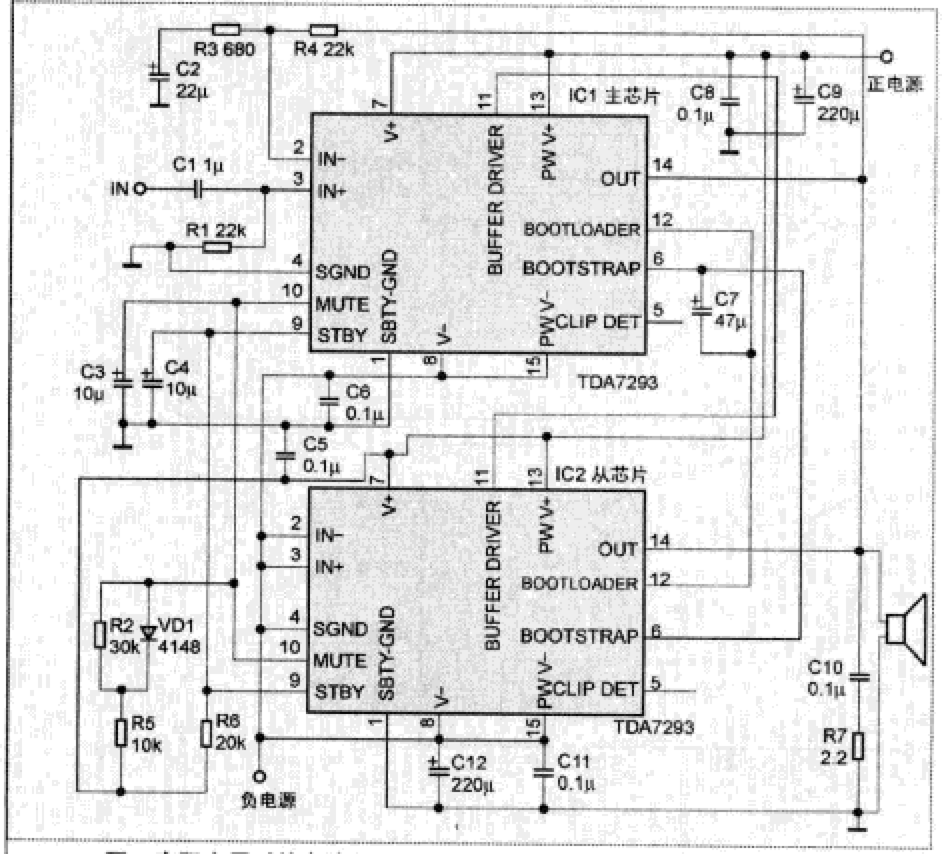


图4 实际应用时的电路原理图

附表

序号	器件名称	器件参数	用量
1	金属膜电阻 R7	2.2Ω/0.5W	1
2	金属膜电阻 R3	680Ω/1/4W	1
3	金属膜电阻 R5	10kΩ/1/4W	1
4	金属膜电阻 R6	20kΩ/1/4W	1
5	金属膜电阻 R4、R1	22kΩ/1/4W	2
6	金属膜电阻 R2	30 kΩ/1/4W	1
7	二极管 VD1	1N4148	1
8	红宝石电解电容 C3、C4	50V/10μF	2
9	红宝石电解电容 C2	50V/22μF	1
10	红宝石电解电容 C7	50V/47μF	1
11	高频低阻型电源滤波专用电解电容 C9、C12	220μF /50V	2
12	CBB电容	220pF /50V	1
13	CBB电容 C5、C6、C8、C10、C11	0.1μF /50V	5
14	CBB电容 C1	1μF /50V	1
15	集成电路 IC1、IC2	TDA7293	2
16	电路板	主从两并联型	1

电路板设计及元器件组装

电路板的设计工作是整个制作过程中最重要的一个环节，一块好的电路板不但要求元件排列整齐、美观，更重要的是要做到走线合理，有关电路板的布线规则可参考相关的专业书籍。图 5 所示的是用 PROTEL99SE 专业软件设计的，由大型电路板厂生产出的电路板。此款电路板设计合理，元器件布局美观大方，装配完成后通电即响，整个功放板工作稳定。

整个电路板选择了高稳定度高精度的金属膜电阻，小电容全部为CBB，关键点电解电容是广受发烧友好评的红宝石，芯片则为同批次同编号产品，所用的所有元器件如图6所示。

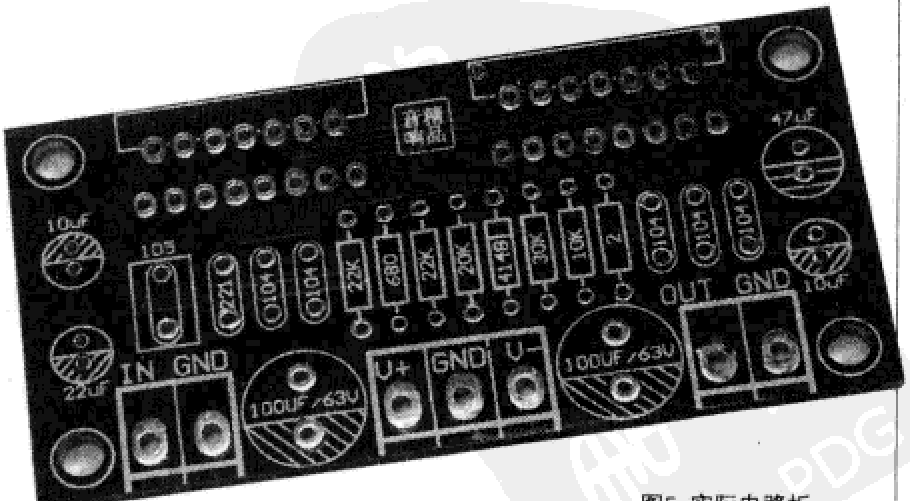


图5 实际电路板

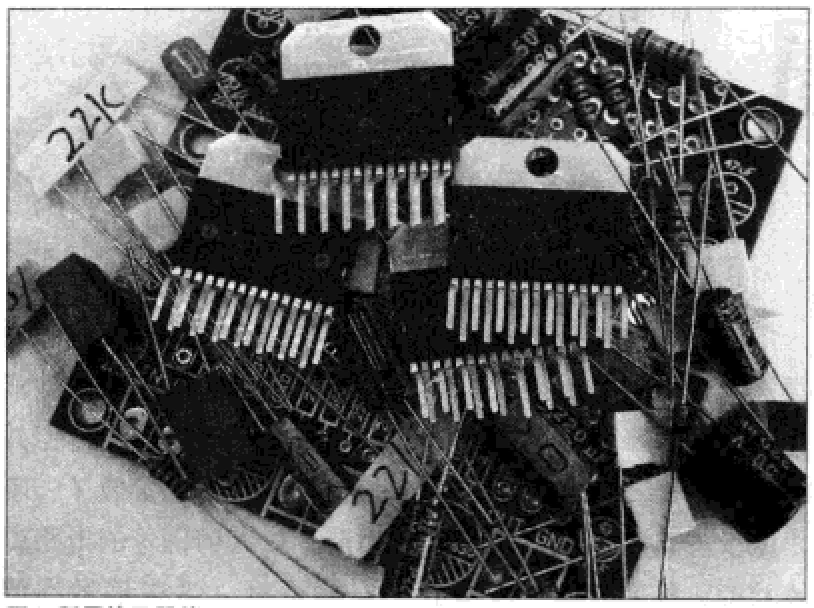


图6 所用的元器件

图7 焊接中的电路板

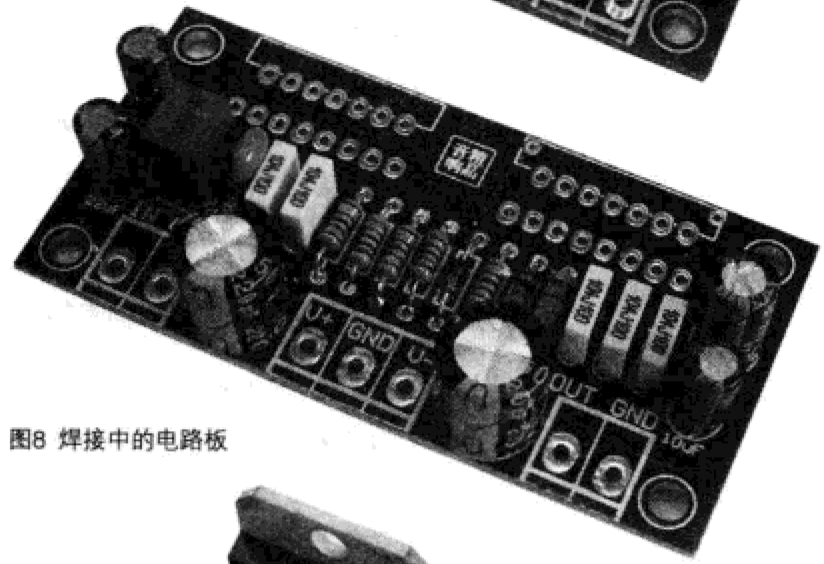


图8 焊接中的电路板

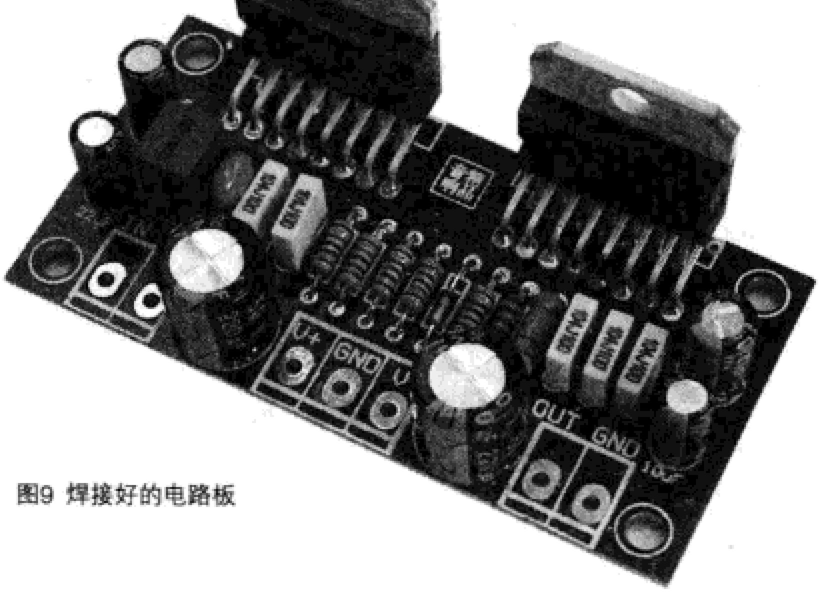


图9 焊接好的电路板

准备好器件后就可以开始焊接和组装了，常规的焊接顺序是由小到大，由矮到高，最重要的是要按电路板上的标注，使元器件都一一对号入座，如图7、图8所示。

图9所示的是组装完成后的电路板实物图。

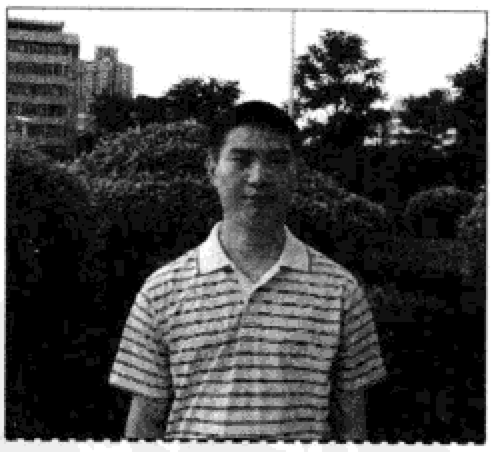
整个电路板焊接好了，要细心检查一遍，整个电路板有无焊接错误，之后再拧上散热器即可通电试音了。此时你可以泡上一杯好茶，浓郁的茶香伴着美妙的音乐，尽情地享受一番自己的劳动成果！

一些鲜为人知的秘密

1. TDA7293并联有两个版本，老版本是芯片的2、3、4脚接地，新版本是接负电源，此电路板按新版本设计。

2. 并联后跟并联前的音色完全一致，并联后可推动更大的功率的扬声器，所以玩电子分频的可以选择高音部分用单芯片，中音部分用双并联，低音部分用三并联来组建整个系统，可获得意想不到的效果。

3. TDA7293对电源电压非对称非常敏感，一旦出现电源电压不对称的情况，功放就会放烟花(烧芯片)。最常见的是两种电压不对称情况：一是在芯片损坏时(最常见的是功率管击穿)会引起电源电压不对称，只要其中一个芯片损坏，最终的结果是与这个芯片共用电源的其他芯片都会损坏。此时可以采用两声道独立供电来杜绝此现象的出现，二是在焊接电源线之前要对电源的大容量电容进行放电，否则在你一根一根地焊接电源线时，芯片就已经因电源非对称而损坏了。Ⓦ



DIY简历

小时候最喜欢在收音机旁收听单田芳老师那脍炙人口的评书。为了节省收音机的电池使用量，通过自学，制作了一个给收音机供电的小稳压电源。当收音机使用自制的稳压电源发出清晰宏亮的声音时，心里甭提多高兴了，从那时起便迷恋上了电子制作。声控开关、无线话筒、LM1875功放、NE5532前级等都玩过。工作后从事电子产品的研发，得工作之便，制作了大量发烧功放，并最近创建了个人网站：WWW.HIFIJP.COM，欢迎各位烧友到小站来做客！

玩转老功放之入门篇

◎梓门

音响爱好者一般分为两大派：焊机派与器材派。焊机派重点研究的是电路，器材派重点研究的是器材搭配。焊机派有点像先盖房子的，用砖和水泥（相当于电子元器件）能够盖出形式各异的房子来，器材派有点像布置房子的，根据房子的特点来选择家具（相当于音响器材），搭配出不同风格的居室。

音响爱好者想成为哪一派都不容易，焊机派需要的是时间和体力，技术功底和“银子”倒不是主要的。你的技术理论功底可能不够扎实，电路焊多了，照猫画虎也能焊出好机器来；你的“银子”可能不够多，少用天价发烧元件，多费功夫进行器件筛选，多琢磨电路布局也能焊出好机器来。

器材派需要足够的“银子”，音乐素养当然也需要，但不是主要的。你可以五音不全，唱歌跑调，对五音的识别也不足够准确，但听多了昂贵的器材，也能成为“土专家”。

单说焊机派的入门，要实践练手，“电路套件”算是一个轻省的方法，但是比较费“银子”，尤其是现在“电路套件”也开始走高档的路子，动辄双面印制板、SMD（贴片元件）、顶级的专用IC（集成电路）和发烧元件，要求对电烙铁（焊接普通引脚元件）和热风台（焊接SMD元件）的使用越来越多，对电路原理和设计的要求越来越少。

自己选电路、选元件、制作印制板或者用实验板（面包板）进行实践练手，对入门者来说，似乎难度大了一些，这还不包括钳工、木工的活（制作合适的外壳），是既费钱又费时间。

玩玩老功放，笔者认为也是一种轻松快速入门的好方法，综合算账，一般也不比玩“电路套件”更费钱。

所谓老功放，就是退役的二手功放。在网上购物没有普及的时代，老功放一般只有在本地淘换。虽然电子类报刊杂志也提供相关的邮购信息，但其信息数量有限和质量不保证。现在通过互联网，我们至少可以从全国范围内淘换这些老功放了。

本文所推荐的老功放是日系品牌的老功放，它们出身名门，大都上市于1970—1985年，产地和销售地也以日本居多，虽然已经退役，技术性能大多下降有限，被我国南方的商家通过网络售卖，价格便宜，值得一玩。

玩老功放的优点

玩老功放的优势可以概括如下：

1. 电路成熟，性能可靠

国外产品当年的市场保有量一般比较可观，现在二手产品能够以这样或那样的途径流入国内，仍然被市场认可，存在即合理，经过市场和时间双重检验的产品，值得我们去研究。

对爱好者而言，更有价值的是，电路成熟的产品，一般不会一动就坏，经得起你反复折腾，我们就有了足够多的练手机会，更何况便宜的东西，折腾坏了，一般也不会让我们心痛。

2. 电路设计和生产工艺考究

1970—1985年是日本产品风行世界的时期，入门级的Hi-Fi音响产品在电路设计和生产工艺方面都很考究。那个年代也是收音头、磁带卡座和电唱机风行的年代，虽然有些电路型式在今天的产品中已经很少见了，但并不是说这些电路没有研究价值了。事实是恰恰相反，放大弱信号的电路更值得我们好好琢磨，这些信号不但弱，而且均为模拟信号，要经过多级放大，容易受到干扰，电子电路的噪声、失真指标更难把握。

3.性价比高

要想成为焊机派中的行家里手，大量的实践是必不可少的，如何少花钱多办事，恐怕不仅仅是囊中羞涩的爱好者常常挂怀的事情。一套简单的电路套件价钱可以买到一台中档偏下乃至一台中档的Hi-Fi水准的功放，而且这样的功放有些还是当时的经典产品，对于今天的爱好者来说，不但是价钱便宜，就机会来说，也有些可遇而不可求。

4.分立元件为主的电路，经典而有趣

那个时代的放大器以分立元件为主，从前级到后级，无不如此，不要说专用IC，就是通用IC的应用也不是很常见。虽然IC能够简化电路，降低成本，但这是对于音响制造商而言的，对于爱好者而言，琢磨分立元件电路远比IC更能够丰富自己的知识素养。

挑选老功放的经验之谈

要挑选到自己心仪的老功放，有下面几条经验，一家之言，仅供参考。

1. 不要有“捡漏”心理

这和古董行的道理是一样的，

“捡漏”心理是要不得的，“捡漏”是一种机会，既然是机会，就是可遇而不可求的。俗话说得好，“买的没有卖的精”，买卖双方的信息本来就不对称，即使是信息非常丰富的网络购物也是如此。更何况是一个入门者，面对行家，你“捡漏”的机会有多少？

2. 看和买分两次进行

看到一款心仪的老功放，不要急着买，根据型号和外观，上网查询，值得买的功放，应该同时具备如下特征：

◆网上能查到丰富的信息，而且不只是中文信息，看不懂外文不要紧，型号、外观、维修示意图等并不需要看懂外文，在常见的网络购物网站上，如国内的淘宝，国外的 ebay、yahoo 等，应该有其销售或者成交的信息。

◆该型号产品的制造商至今还在营业，官方网站仍然可以浏览。如果是资深爱好者，这条不受限制。

◆能找到该产品当年上市发布的官方页面为佳，这样可以知道该产品当年的官方建议零售价。

◆能找到该型号产品的官方维修手册（service manual）为佳，就是里面有完整电路原理图的那种。这种手册里一般还包含技术规格和结构图以及印制板图，不是使用方法的用户手册（user/owner manual），本条不必苛求。

另外，ebay网站上有很多售卖老机器的维修手册的，也有一些专门售卖老机器维修手册的网站。如果该机型的维修手册热卖，也能从侧面说明问题。如SONY的TA-1150，上网搜索的关键词为“SONY TA-1150 service manual”，搜索时尽量不要用中文关键词，最好选择有“语言选择”功能的搜索引擎，以搜索外文页面为主。因为包含上述信息的中文页面不多见，国内制造商普遍随机提供完整电路原理图大概是1986年之前的事情，随后越来越少，现在几乎绝迹了。

表1 一些历史信息相对完整的老功放

型号	制造商	上市时间/售价	当今国内参考售价	主要规格[1]
TA-1150	SONY	1973年/ 4.98万日元	280元人民币	100W@8Ω，150W@4Ω
AX-500	Yamaha	1987年/ 4.98万日元	390元人民币	85W@8Ω，100W@6Ω
SA-6300	Pioneer	1975年/ 2.98万日元	160元人民币	20W@8Ω，20W@4Ω
SU-7700	Technics	1976年/ 4.58万日元	320元人民币	55W@8Ω，70W@4Ω
PM520DC	Marantz	1982年/ 5.98万日元	260元人民币	48W@8Ω
AU-D607F	SANSUI	1980年/ 7.60万日元	380元人民币	75W@8Ω
Integra A-755	ONKYO	1972年/ 6.0万日元	450元人民币	26W@8Ω
KA-8300	TRIO	1978年/ 7.80万日元	390元人民币	80W@8Ω，110W@4Ω
A-7	NEC	1983年/ 7.98万日元	550元人民币	50W@8Ω，100W@4Ω

表1所列功放，大致就符合上述条件。当然可供选择的品牌和型号不止这些，这里只是举例说明。

注释：（1）主要规格包括额定输出功率（同一行业标准）和额定输出功率所指定的负载阻抗，THD或

图1 老功放的实物外观（外形尺寸未完全按照同一比例）

者THD+N指标不是常见的10%，而是0.1%以下或者更低，这里从略，频响指标为20Hz～20kHz，输入灵敏度指标为775mV，当时的0dB电平大致如此。

（2）Technics：日本Panasonic（松下）的音响品牌，国内中文名称：乐声。

（3）TRIO：KENWOOD（建伍）的音响品牌，国内中文名称：天乐。

表1所列功放均为日系品牌（均为所谓合并式功放，即包含前级和后级的功放），实物外观如图1所示。多数型号既面对日本国内市场，也面对日本的海外市场（欧美为主），但是型号的后缀不同。国内廉价的老功放以面对日本国内市场的为主，特征是使用110V的市电规格而且机壳上没有市电规格选择的功能，这样的老功放才会比较便宜，带有市电规格选择功能的老功放，价格就要贵不少。如果仅仅是出于研究把玩，前者就可以，如果是研究把玩之后还想长期使用，就费些“银子”选后者为佳。

老功放的前级功能一般都很丰富，除了音源选择，音调控制也是必不可少的，高、低音调节或者是图示均衡器，一般采用模拟调节方式，高级机型会有遥控功能，也是采用电动电位器的居多。老功放上的TYPE（盒式磁带录放音机）输入/输出（REC输出）、PHONE（塑料唱片电唱机）输入端口，前者应该有选择的使用，因为与TYPE相关的端口，采用的是0dB电平（775mV）输入标准，今天的音响设备，电路输出电平大都是2V，最好使用AUX输入端口。对于唱机输入（PHONE）端口，机内一般设有RIAA均衡放大电路，不能作为普通的电路输入使用，有动手能力的爱好者可以将其改造成通用的电路放大器，作为低电平信号的输入端口，或者将机内RIAA均衡放大电路跨接闲置，作为AUX输入端口使用。

3. 注意购物风险

如果不是本地面对面的实物交易，而是网上购物，购物风险值得引起我们足够的重视，尤其是刚刚涉足网上购物以及刚刚涉足网上购买二手电子产品的人，这个问题更应该引起足够的重视。因为网上购物不是本文范畴，在此仅仅提醒一下，具体的技巧，不再赘述。

玩转老功放之初级篇

初级篇是针对入门者或者准备入门者的。

1. 准备一些基本的工具

要玩老功放，准备一些基本的工具是必要的，如图2所示。

电烙铁20～25W即可，最好同时准备两把，另一把为35W，内热式、外热式均可。图2所示的为内热式的，普通品即可，无需长寿型的。两把电烙铁的用途在下文中会逐渐提到。另外，电烙铁需要配备焊锡丝，直径（ϕ）1.5mm左右即可，焊锡膏可酌情配备，也可以用松香代替。

万用表应该优先准备指针式的，图示是常见MF47型指针式万用表，比较廉价的那种就能满足需要。指针式的模拟万用表具有不可替代的用途，在本文的中级篇会有说明。

220V/110V变压器是为用110V市电规格的机型准备的，日本原产并且是针对日本国内市场的机型大都采用110V的市电。有些机型内的电源变压器可以通过预留的抽头进行简单更改的，但是多数是不可以的，无论是否可以改，准备这样一台变压器进行试机是非常方便的。

推荐准备但不是必须的工具有：一字头螺丝刀（不常用）、镊子（可

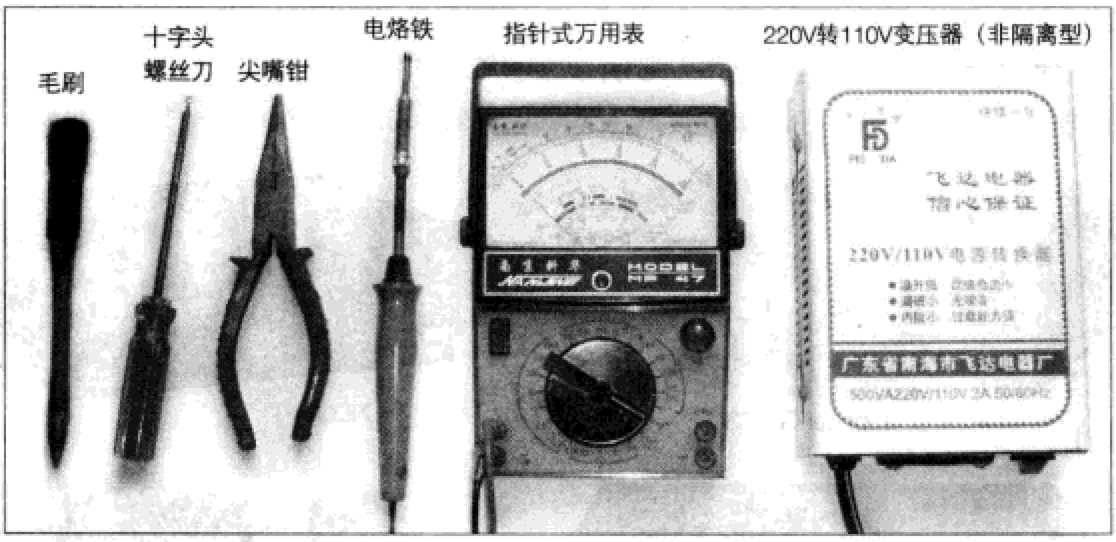


图2 一些基本的工具

图3 一些辅助工具和用品

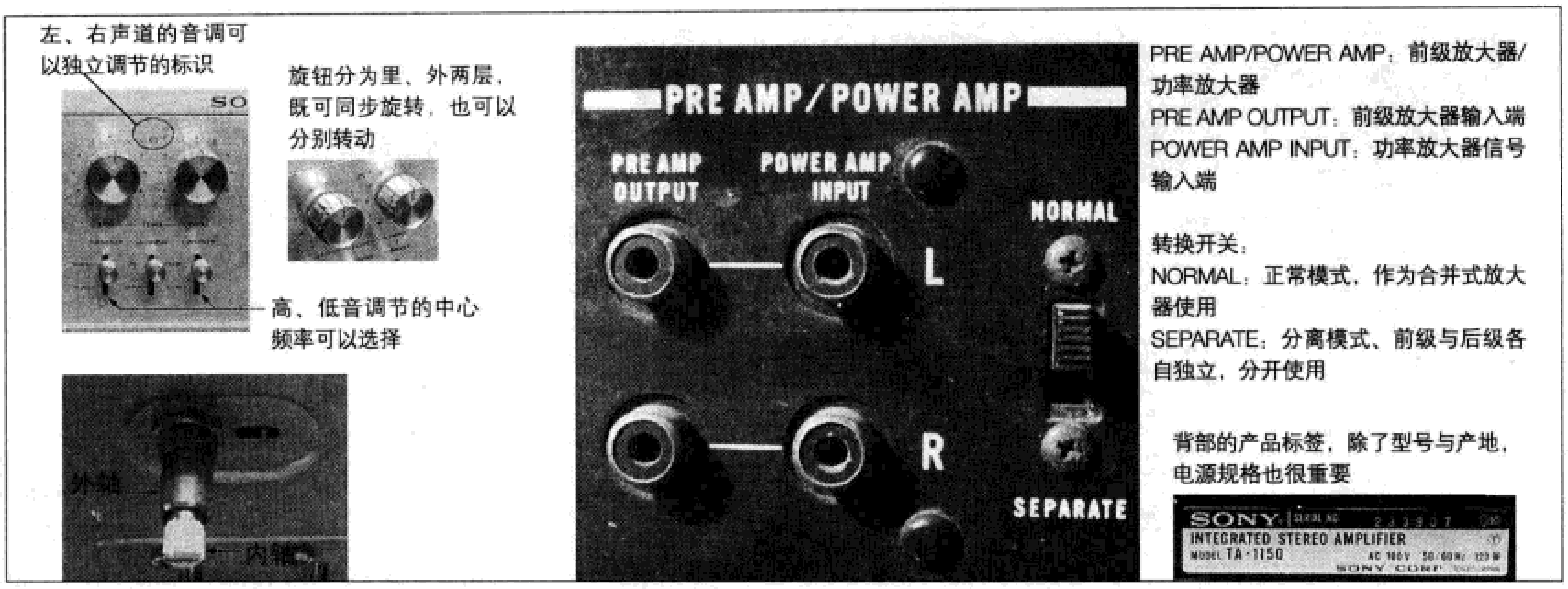


图4 值得额外注意的一些外部特征

用尖嘴钳代用）、不锈钢捅针（不锈钢丝和缝衣针可以替代）、吸锡烙铁等。为了清洗内外部比较脏的老功放，应该准备清洗剂，如无水工业酒精（主要用来清洗机内电路板）和洗洁精（家用的即可），清洁电脑用的小吸尘器有时候比毛刷用起来更顺手，见图3。

2. 认识老功放的前、后面板

认识老功放前后面板的旋钮和输入/输出端口，可以从感性层面认识老功放的功能。不同制造商的产品，不同型号的产品，它们可能千差万别，不过万变不离其宗，认识和熟悉它们并非难事，对于一些不常见的冷门功能和端口，可以不加理睬，或者等机器到手后实际操作一下即可。

有些外部特征则包含了对我们比较有用的信息，本文以SONY的TA-1150来说明之，TA-1150值得我们额外注意的外部特征如图4所示。

虽然TA-1150是入门级的产品，同类同系列比较高级的产品是TA-1120F。图中所示的两处功能说明这款机器有某些中高档机器的特性：前面板上，高、低音调节的中心频率可选，左、右声道可以独立调节，也可以同步调节，音调电位器采用了同轴套轴的型式，这是比较专业的选料。后面板上，前级放大器，即音源选择、音调调节、音量调节、电路放大等部分，有独立的输出端子。后级（功率放大器）有独立的输入端子，而且通过一个拨动开关来转换，而不是额外采用外部短路线。前后级分别独立可用，一般可以说明这台机器的前级的素质不错。

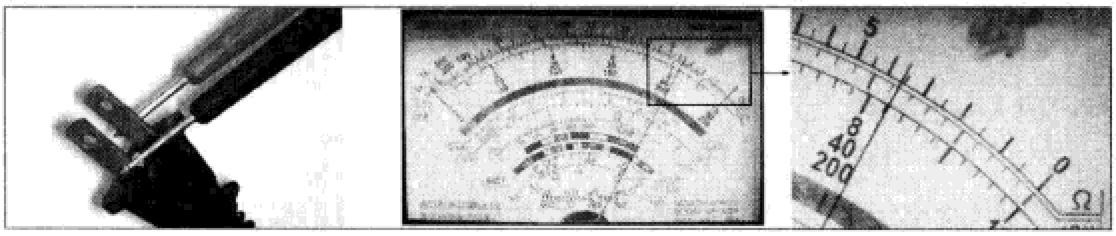


图5 用万用表测量电源输入端

至于产品标签，除了能从成色上帮助辨别机器的真伪，同时也能佐证这台机器的型号与产地，同样重要的是，可以直观的看到这款功放所需要的市电规格，避免用错电源，如果是110V以及125V等，用220V电源是会烧坏机器的。

3. 上电试机

首次上电试机前，应该先做一些准备工作。

老机器拿来最好不要急于上电试机，除了观察机器的外部铭牌、确定电源规格以外，先用万用表简单测量一下电源输入回路是否存在短路故障，避免贸然上电将故障扩大。方法是将电源开关置于开的状态（ON），万用表置于欧姆挡的“×1Ω”挡，如果是数字表，则置于欧姆挡的最低挡（自动挡除外），然后用表笔测量电源插头的两端，如图5所示。

图5所示测量的是TA-1150的电源输入端，“3.5Ω”的测量值表示该机电源变压器的初级绕组的直流电阻为3.5Ω。如果表盘显示为0Ω左右，就说明电源的输入回路存在短路故障，如果显示为无穷大，则说明要么输入回路的电源保险管烧了（如果有的话，一般都会有的），要么就是电源变压器的初级绕组烧了。关于万用表的欧姆挡的使用方法，请参考万用表的说明书，对于指针式万用表，尤其不要忘记调零。

如果测量无误，接下来最好打开机器的外壳，检视一下内部：灰尘是否很多，是否明显缺少零件。TA1150 内部的样子如图 6 所示。这样做的目的

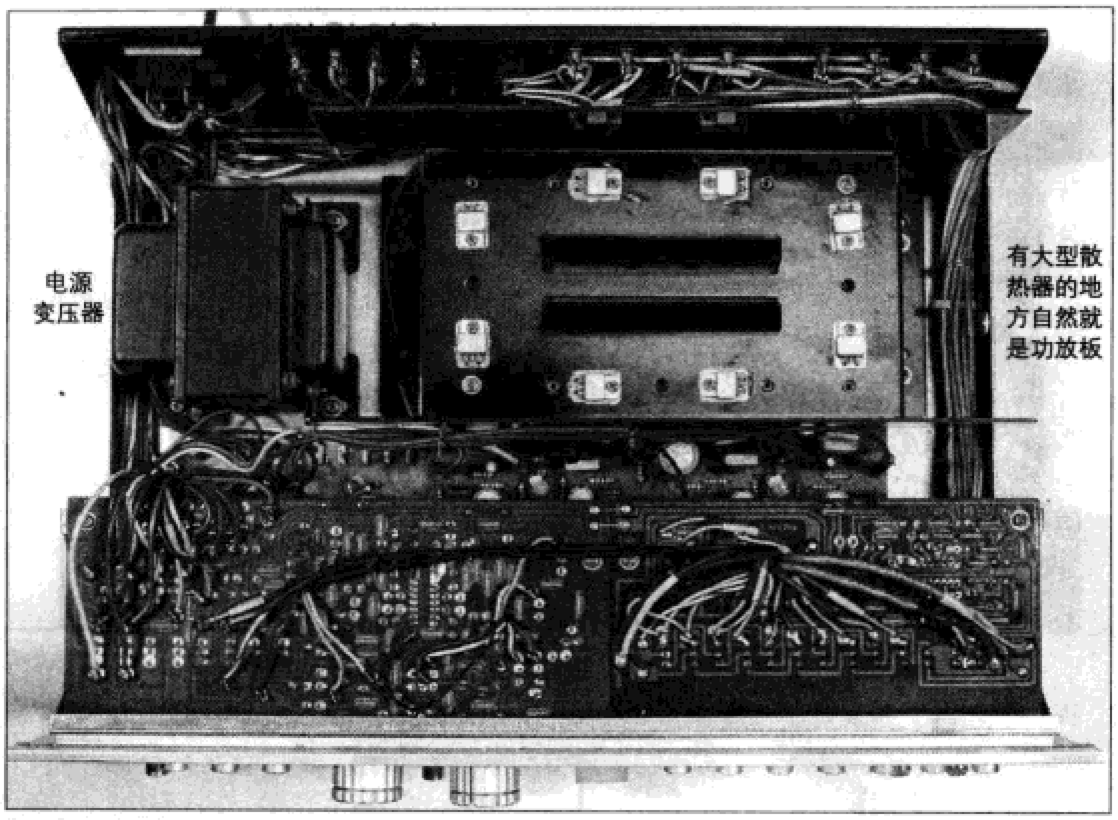


图6 打开上盖的TA-1150

是对机器的内部结构大致心中有数，扎实考究的做工也可以给我们以成就感。

欣赏完以后顺便用毛刷简单清理一下灰尘，用图3所示的微型吸尘器则可以免受扬灰之苦。如果万一有泥浆，如果电路板上没有就暂时不用管，如果电路板上有，用竹签之类的非金属物先粗略清理一下，清洗工作先放一放，等上电试机后再进行。竹签可以用筷子自制，将前部削尖即可，木质筷子也可以，不过应该叫“木签”了。

做完上述前期工作之后就可以上电试机了，如果是110V的市电规格，一定要记得接入图2所示的220V转110V的电源变压器。

第一次上电先不要接扬声器，仅仅点动一下，即打开电源开关马上关上，看看有没有异常情况，如冒烟等。如果没有异常，再用万用表的欧姆挡测量一下电源输入端，如果正常，就说明机器可以安全的长时间加电了。

将万用表置于直流电压挡的50V挡，再次上电并保持，用万用表测量功放的输出端，如果表针没有反应，逐渐减小万用表的挡位直到毫伏挡，如果表针反转则将表针对调。表针指示在50mV以下都可以认为是正常的，一般会在10mV以下。如果超过1V，就是机器有故障了，应该做一些检查和调整，方法将在中级篇说明。

如果一切正常，就可以接入扬声器和音源试机了。

4. 清洗机器

上电试机正常，说明机器的状态基本完好，接下来就可以进行仔细地清理和清洗工作了，顺序是从内到外。

用毛刷或者小吸尘器仔细清扫内部的灰尘，对于有用刷子很难清除的明显污垢，以及先前粗略清理过的泥浆之类，需要用图3所示的无水工业酒精进行清洗。清洗时不一定要将电路板从机壳中取出，将机器侧立或者倾斜，用毛刷蘸取适量酒精清洗电路板的两面就可以。如果有些电路板被其他电路板遮挡，需要先将机器简单分拆。清洗的时候注意机器倾斜的角度，让电位器、转换开关等处于高处，避免清洗的液体流入这些部件。无水酒精挥发得很快，容易着火，所以应该在通风良好的地方进行上述工作。

机器外壳的清洗，重点是前面板，其他侧面用柔软的湿布擦拭一下就可以了，如果有油渍，可以蘸点洗洁精（家用的即可）或者牙膏擦拭。前面板如果

单独安装在底板上的电源滤波电容

同轴叠装在一起的音调电位器，两个声道的高音、低音可以独立调节，也可以同时调节

图7 前面板背后的音调电位器和底板上的电源滤波电容

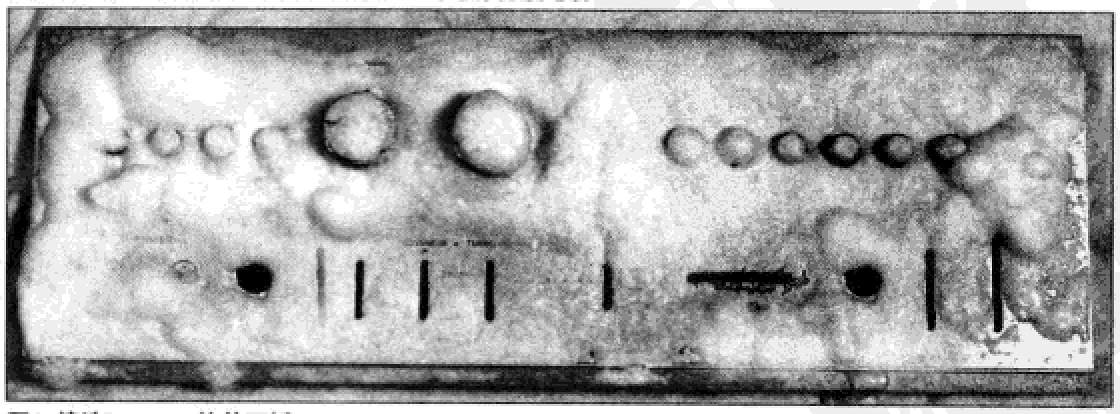


图8 擦洗TA-1150的前面板

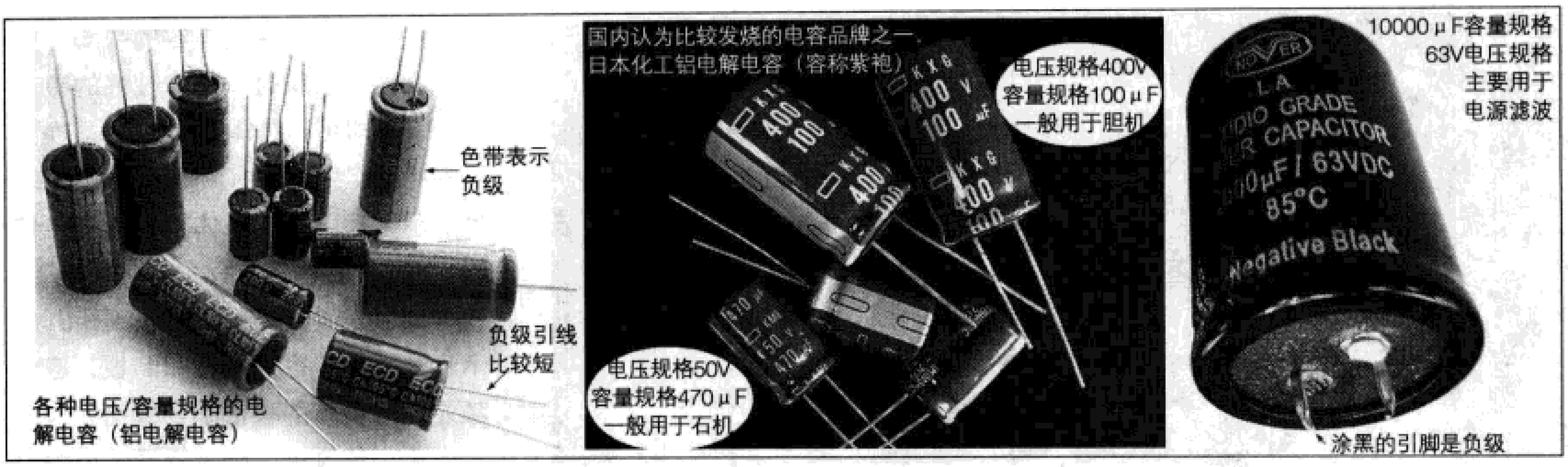


图9 全新的电解电容器（石机：晶体管放大器，胆机：电子管放大器）

经过擦拭不能令人满意，可以拆下来清洗，拆卸的时候以少拆为原则，因为老机器大都用料足而结构复杂，拆卸大多是一件费时费力的事情。

具体到TA-1150，是在图6的基础上，拧下前面板下部与底板连接的螺丝，将前面板连同与之相连的电路板一起与底板分离。因为这部机器的前级连线不是接插件而是压接的，线头很多，既不易拆卸也容易混淆，因此只是将二者稍稍分离而不要断开连线。这时候就基本可以看清楚前面板背后的情形了，也包括图4提到的特殊结构的音调电位器，还有个头很大但是容量并不惊人的电源滤波电容，如图7所示。

接着去掉前面板下部的拨动开关上的圆形手柄，将容易拆卸的拨动开关、音量、平衡电位器拆下来，将前面板尽量向前、向下倾斜，抹上洗洁精，用粗糙的布（搓澡巾就可以）和废弃的牙刷进行清洗。清洗的情形如图8所示，这是从下向上仰视拍摄的，不要想象成是俯视角度，这样可以尽量减少清洗液体渗入面板后部。迅速反复擦拭，然后用吸水性好的纸（如卫生纸）将清洗液体连同赃物一同擦去，然后将擦拭用的纸折成合适的形状，将渗入面板背部的清洗液也逐一擦拭干净，晾干后即可。

老机器不同于新机器，不要太贪心，不要期望光亮如新。过多地清洗，既浪费时间，效果也不一定令人满意。过多地拆卸还可能导致其他意料不到的故障。

经过全面清洗的机器，像初次上电试机那样，确定没有带来额外的故障，工作看起来也正常，就可以连接系统(音源、音箱等)，开始正式试听了。

5. 更换电解电容

业余条件下判断功放的好坏有一个简单的方法，那就是在安静环境下，将音量开到最大，不接音源，整机处于正常工作状态（不是静音或者待机状态），去掉音箱的面网，将耳朵尽量贴近扬声器的音盆但是不要碰触，仔细倾听。如果耳边寂静无声，就说明这台功放的静态指标是可以的，基本达到Hi-Fi要求了。

虽然静态指标好的机器，动态指标不一定好，但是静态指标不好的机器，动态指标一定不好。所谓动态指标，就是放大器放大声音信号的能力和质量，诸如输出功率、THD+N（总谐波失真与噪声）、频率响应等。动态指标好的放大器，我们听起来就比较好听和舒服。对于老功放，用主观的静态指标作为简单的判别方法尤其有效，因为它们经过了时间和市场的双重考验，动态指标是可以信赖的。

试听时如果声音的表现与自己的想象差得很远，如有低频“哼”声或者高频的“咝咝”声等，全部更换电解电容是另一个简单有效的方法。

使用时间比较长的机器，电解电容会因为电解液干涸而失效，或者因为电解液渗出而漏电，但是对所有的电解电容逐个检测并不划算，逐个全部更换反而比较容易。

电解电容比较容易识别，外形多为圆柱形，多数有塑料外皮，也有没有塑料外皮而直接是铝制外壳的。技术指标一般也只需要关注其塑料外皮上标称的容量、耐压以及工作温度范围（只有一个温度数值表示的是工作温度的上限），至于品牌则不一定要求相同，大小也不苛求一样，但是对于采用专用支架安装到底板上的大个子，则要求直径一样，哪怕容量大一些也无所谓，不然的话，如果机内空间有限，安装就会

表2 TA-1150中的电解电容规格

编号	容量规格	电压规格
C101/ C151/ C156/C158/C164	3.3μF	25V
C102/C534	33μF	10V
C108/C301	0.47μF	50V
C502/C533/C535	220μF	25V
C501/C169/C532	47μF	6.3V
C503	22μF	25V
C536	47μF	25V
C302	10μF	10V
C305	220μF	10V
C306	4.7μF	25V
C307	100μF	50V
C308	47μF	50V
C552	220μF	50V
C551	47μF	50V
C553/C554	4700μF	50V

图10 TA-1150换下来的电解电容

有问题。另外，就是要注意其极性，电解电容器一般有两个引脚，分正、负极，一般不能接反，尤其是电源滤波部分，接反了会发生击穿损坏，甚至瞬间爆炸。新的电解电容器，引脚短的一个是正极，外皮上一般也会有相应的标识，容量比较大的，压接引脚会将负极涂黑，如图9所示。

如果有维修手册并且看得懂电路图的话，对照原理图即可得到所需要的电解电容清单，根据清单购买备用即可。如果没有，对照电路板，逐一弄清楚所有电解电容的技术规格也并不太难。具体到TA-1150，所用的电解电容规格如表2所示。

购买要更换的电解电容，如果对此市场了解不是太多，可以选择相同的牌子或者较为知名的品牌，前提是不能是假货。如果想减少品种规格，容量相同的可以合并，电压规格就高不就低，如两个同样是1μF的电容，一个是25V，一个是10V，可以全部用25V的。

更换电解电容，一把电烙铁就可以基本搞定，需要额外注意的是电解电容的极性不能搞错。电解电容在印制板上的两个安装孔（位）的标识也不一样，只要注意了，分辨并不难。换电解电容的时候，不推荐一股脑全拆下来，然后统一换新的，这样做的

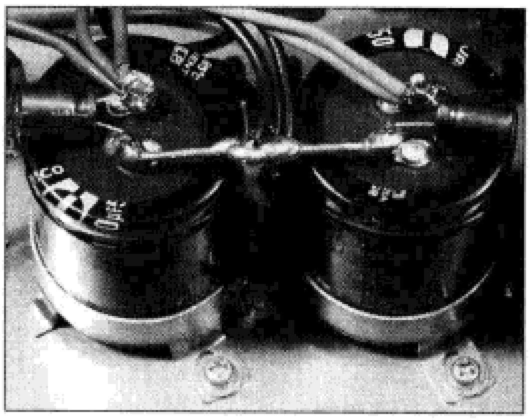


图11 更换后的电源滤波电解电容

效率可能会高一些，却容易出错，对新手来说更是如此，最好逐一对照，尤其是引脚位置，拆一个，换一个。

小电容拆卸时，一手扶住电容，一手拿着电烙铁，烫开一只引脚，扶电容的手向另一只引脚的方向稍微用力的同时轻轻向外拔，然后再烫另一只引脚，向相反的方向稍微用力，如此反复几次，就可以将电容拆下来，然后用电烙铁配合捅针将印制板上的孔捅开备用即可，也可以不用普通电烙铁，直接用吸锡烙铁将电容两个引脚的焊锡吸掉，拔下电容即可。对于个头比较大的，可以用两把电烙铁同时烫两个引脚，稍微震动一下印制板，电容即可掉下来。对于电容底部有胶，就需要一个帮手，烫开两个引脚的同时，让助手拔下电容即可。像图7所示的大个头电容，引线是绕在电容引脚上的，可以直接剪开电容的引脚即可，如果想保留电容的引脚，用电烙铁烫开引脚时，用弹性好的镊子解开引线即可。具体到TA1150，换下来的电解电容如图10所示。图中同时也显示了换下来的晶体管和偏流电位器，相关内容将在中级篇中叙述。

新换的电源滤波电容如图11所示，这两个电容没有用印制板，应该额外注意引脚的极性不要搞错。作为一个小小的改进，给大容量的电解电容并联了一个1μF的小容量电解电容，以期降低大容量电源滤波电容的高频阻抗。

每更换一个电解电容，作为一个良好的习惯，应该复核一下电解电容的连接极性是否正确。全部电解电容更换过后，上电试机方法和首次试机一样，先点动，第二次上电测量功放输出端的直流电压，第三次上电试机才接入扬声器试听。

到全面更换了电解电容为止，除了频繁使用的电烙铁，涉及到的电子知识与技能并不多，但是对于能上电正常工作或者虽有隐性故障却不影响上电工作的老功放来说，这些简单的方法已经基本够用了，技术性能虽然不能说是恢复如新，至少是已经大部分恢复了。这样的老功放也是目前市场上的主流品种，是卖家们宣称工作正常的老功放。

上电不能正常工作的老功放，电路板清洗和电解电容的全面更换仍然是推荐优先进行的步骤，有些故障机用这些方法就可以解决。如果不能，剩下的常见故障就是功放管了，如果是短路故障，保险管也会同时烧断。这样的故障机只要不缺零件（型号识别的需要），修复一般也不复杂，同时还能丰富自己的电路知识。本文的中级篇将仍然以TA-1150为例，介绍功率晶体管的简单测试与代换。

用感光法制作电路板

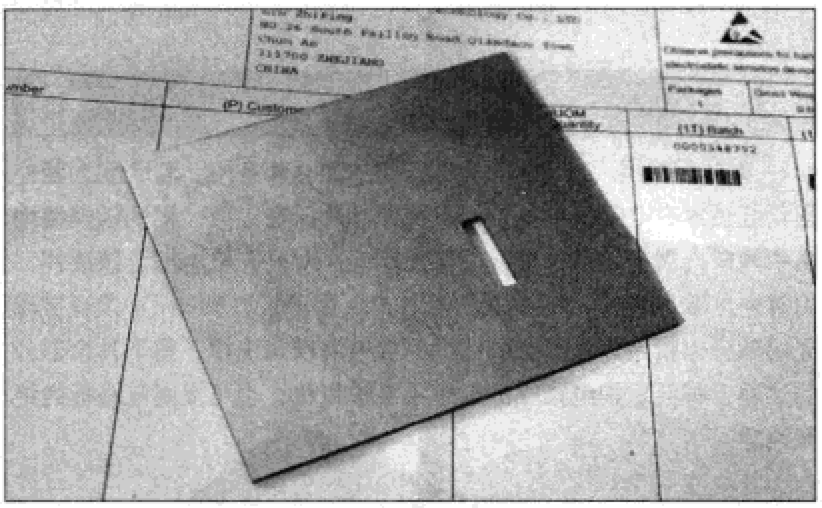
◎刘枝平

由于PCB打样的费用昂贵，而且费时，因此，喜欢DIY的朋友有时会选择自制PCB。制作PCB的方法有很多，笔者向大家介绍的是使用感光油墨制作PCB的方法。此方法制作PCB的优点是精度高、成功率高，缺点是工艺相对热转印来说要复杂一些。

需要的材料：敷铜板、透明菲林片、蓝色感光油墨、200目的网架、刮板一个、玻璃、蓝色环保蚀刻剂、显影剂、脱膜剂、UV紫外固化红油，以上材料都可以在网上购买到，价格也都不贵，比起直接购买成品感光电路板要便宜一些。

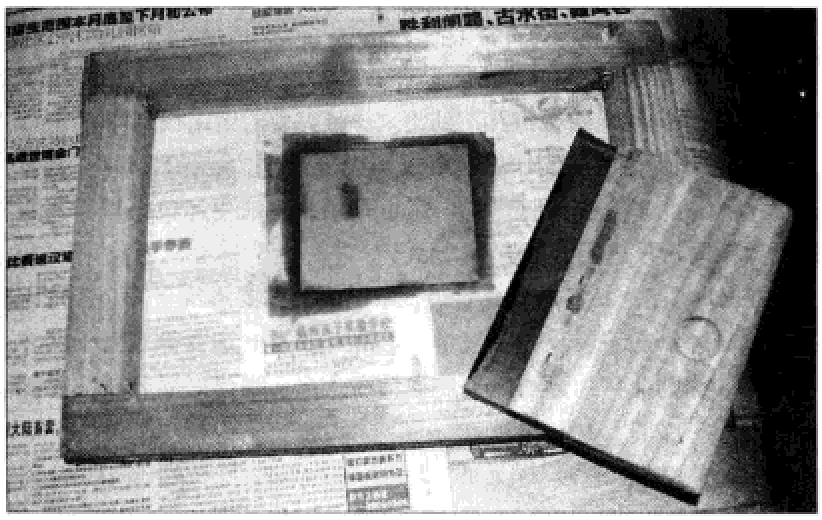
步骤一

首先将敷铜板的表面处理干净，最好用酒精之类的清洗一下，然后用吹风机吹干，要保证表面不能有油渍，否则油墨会无法敷着。



步骤二

关闭室内大灯，留一小灯，有少许光线即可工作，切不可太亮。将电路板有铜皮面向上，将网架压在上面，然后取少许感光蓝油涂在表面。用刮板稍用力刮油墨，直至表面均匀。刮油墨时，要保证铜皮表面各处都均匀覆盖到油墨。刮的时候可以用力些，不必担心油墨层太薄，实际上，经过笔者多次实验，油墨层越薄，精度越高。



步骤三

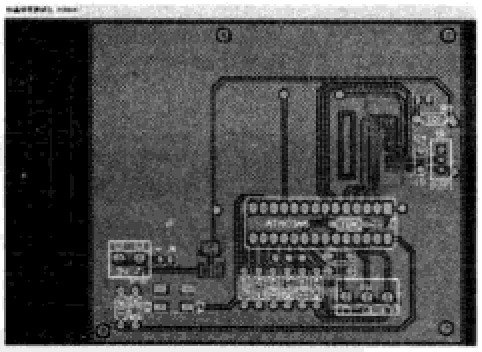
将网架抬高，此时电路板会紧紧粘着纱网，只要用手指在电路板旁边的网纱上稍用力地由下向上按压一下，电路板即可脱落。如发现油墨不均匀，可以重复第二步骤。

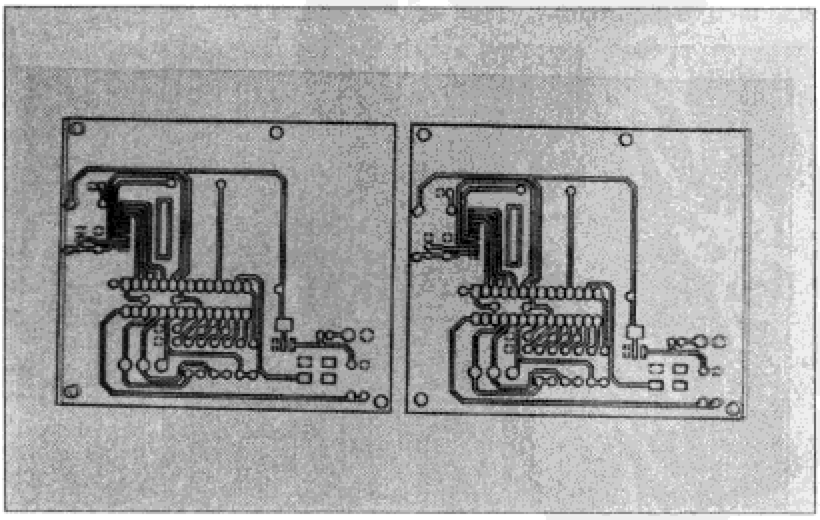
步骤四

用吹风机将刮好油墨的敷铜板吹干，吹7~10分钟，冷却后用手触摸表面，看是否干透。

步骤五

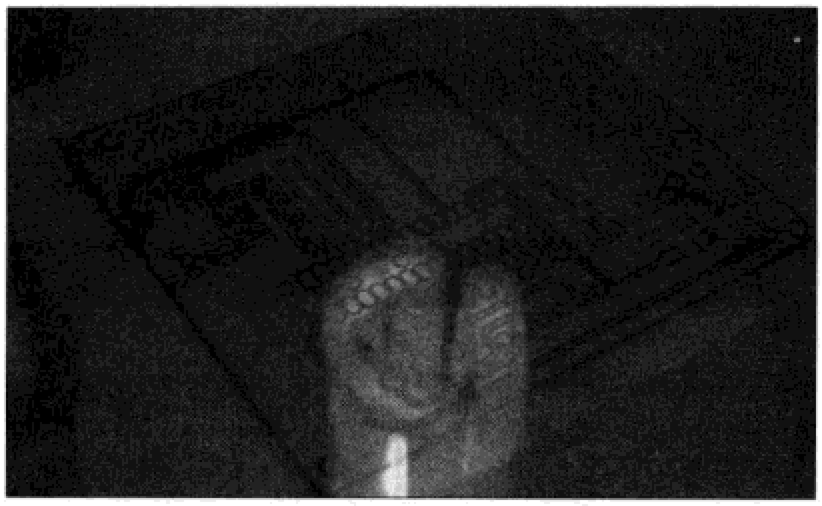
打印菲林片。打开DXP2004，选择“页面设置”，选择“高级”，选择要打印的层。将“底层”、“禁止布线层”、“焊盘”保留，其他删除。用虚拟打印机输出PDF格式的文件，用PS打开PDF文件，用油漆桶工具添加背景白色，然后去色，调整对比度、反相、水平翻转，一个步骤都不能少。再用打印机打印出菲林片，将打印出的菲林片，对着太阳看，看黑色部分是否有小颗粒。如有，就再打印一张，两张叠在一起，以防漏光，因为有黑色油墨阻挡的部分，紫外线无法穿过，蓝色感光油墨无法被曝光。





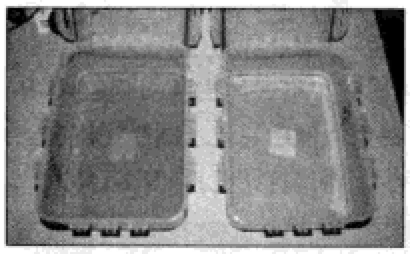
步骤六

曝光：笔者采用的是紫外光曝光，当然，也可以用太阳光曝光，原理都一样。将敷铜板有油墨一面向上，压上两张已经叠好的菲林片，再压上一块玻璃。打开紫外灯，曝光时间在3~4分钟。曝光之后，没有被菲林片上黑色油墨遮挡的部分，会硬化，紧紧粘在铜皮上。

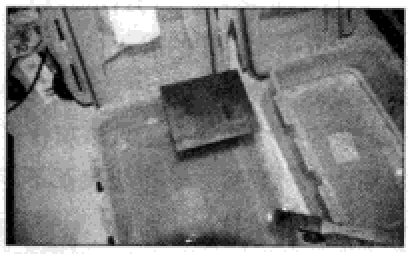


步骤七

显影：准备好显影剂，按1g显影剂加100mL水的比例，调好显影水。将曝光好的电路板放入其中。10秒钟后，用小毛刷轻轻地刷电路板表面。这个动作如同秋风扫落叶。没有感光的部分在显影剂的作用下，会被小毛刷扫去，露出铜皮，露出的部分就是我们需要腐蚀掉的部分。



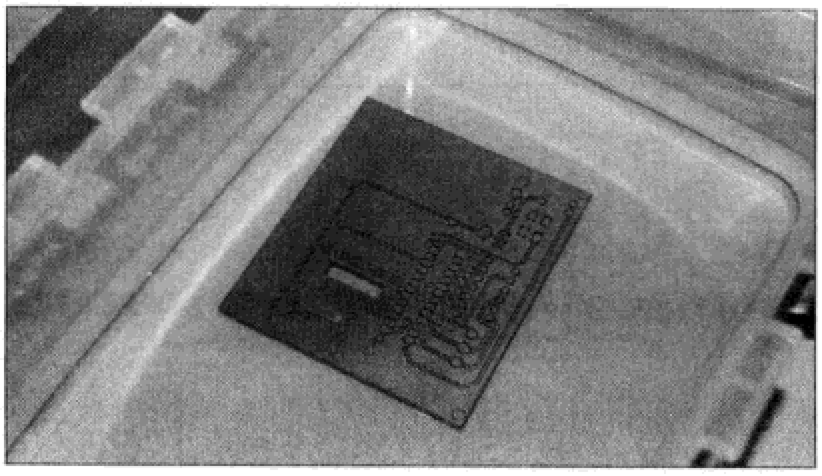
准备好的显影液和蚀刻液体



显影好的电路板

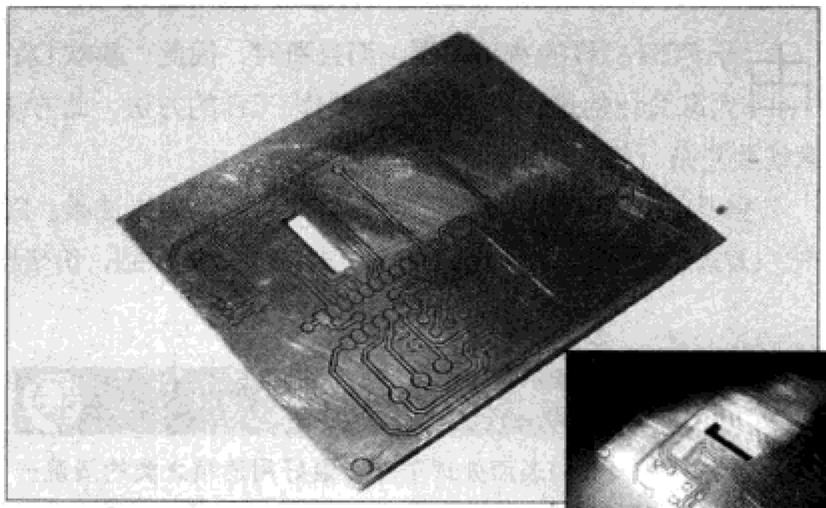
步骤八

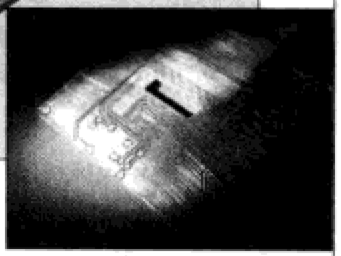
蚀刻：将蓝色环保蚀刻剂按10g蚀刻剂加30mL水的比例兑好，水温在40℃左右，温水中蚀刻的速度较快，效果好。放入电路板后，用塑料棒轻轻搅拌，让蚀刻液流动起来，这样可加快蚀刻速度，5~10分钟蚀刻完毕，到此电路板制作已经完成一大半了。



步骤九

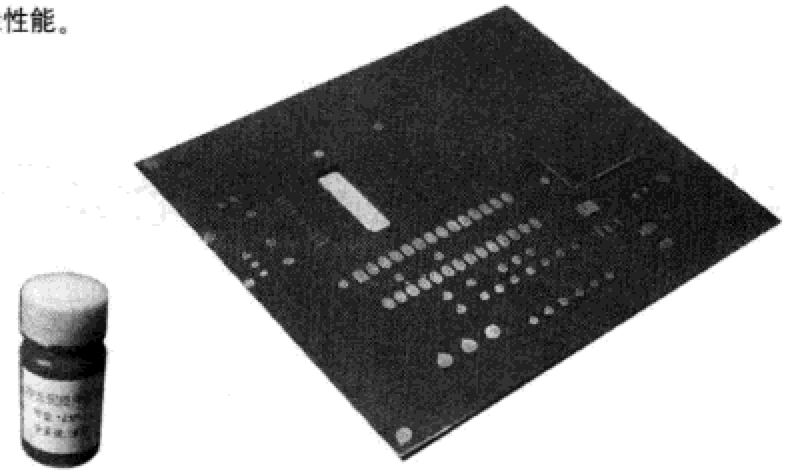
清洗掉电路板上的蚀刻液，将电路板放在脱膜液中3分钟，即可去除掉已经硬化的蓝色感光油墨。





步骤十

制作阻焊层：打印一张只有焊盘的菲林片备用。取足量UV紫外固化红油放在电路板中间位置，将菲林片压在上面，用刮板慢慢地由中间向周围刮油墨，使红油覆盖均匀。对好孔位，压上玻璃片，用紫外灯曝光3分钟。轻轻揭去菲林片。用酒精清洗一下，没有被曝光的部分也就是焊盘部分的红油，会被酒精清洗掉，留下其余部分的油墨，将会保护电路板的走线不会被氧化，也可提高电路板的绝缘性能。



步骤十一

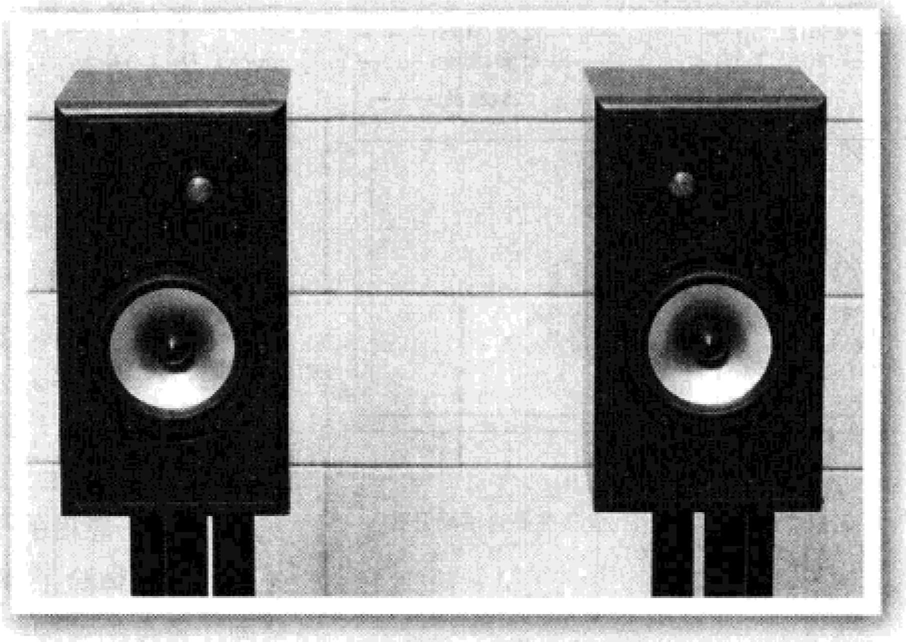
用小电钻给电路板打孔，到此，一张完整的电路板制作完成！

总结：用感光法制作的电路板，其精度可以做到0.2mm，甚至是0.1mm，大多数生产PCB的厂家也采用此方法生产电路板，其原理大致相同，只是工艺有些不同而已。

制作要点：1.室内光线要暗，2.铜板表面要清洗干净，3.打印菲林的时候别忘了要反相和镜像，4.刮好油墨一定要等表面干透才可曝光，否则菲林片会和蓝色油墨粘在一起，曝光好后无法完整揭下，5.曝光不可过度。

☆如大家在制作时有疑问，可通过杂志编辑联系笔者，笔者将一一作答。

用挪威西雅士H1212和H1224制作一对满意的书架箱



◎朱辉

从2000年初，我开始迷上音响，最初接触的音箱是老爸留下的一对二手燕飞士SM15音箱，后来自己通过查看网上评论，购买了惠威M1、PROAC R8S等音箱，其中花去的时间和金钱不算少，但是最终也没有让自己的耳朵得到完全满足，于是不得不走上了DIY音箱的道路。

一次偶然的机会在网络上看到zaph著名书架箱的设计，all-metal project（单元采用西雅士L18/27TBFCG），我被这套单元所吸引，该单元的参数比较优秀，其测量结果也比较理想，这是一款比较成熟的设计，于是便有了用该单元制作音箱的想法。此后本人学习了许多相关的知识，终于在2009年开始实施了这个计划。

图1 高音单元 H1212的外观

图3a 低音单元H1224-08 L18RNX/P

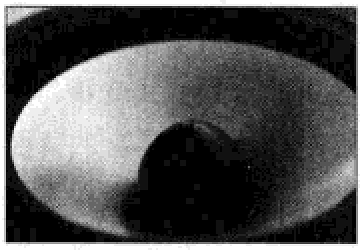


图3b 盆与折环

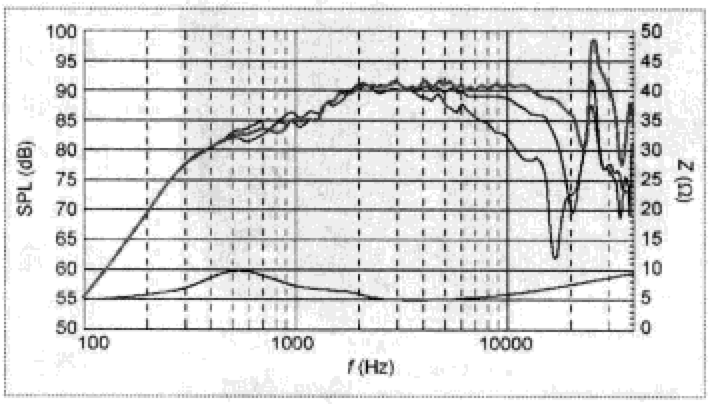


图2 H1212 频响参数

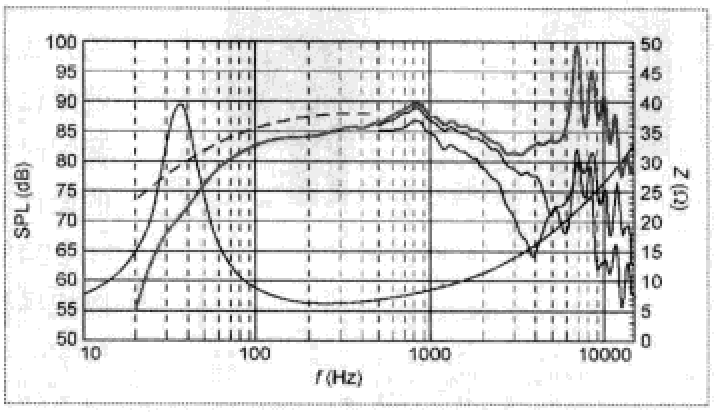


图4 H1224（L18RNX/P）的频响参数

单元的选择

高音单元采用的是西雅士H1212-27TBFC/G（图1），H1212是一款1英寸铝镁合金的金属膜高音单元。金属膜具有良好的塑性、韧性、强度，以及对环境和物料的适应性，但是国内对其偏见比较大，通过自身的实践，个人感觉金属膜单元并没有很多人所讲的有严重的金属声，我觉得声音比较宽松和自然。从官方所提供的频响图看（图2），其声音具有很好的指向性。虽然是高音单元，但其冲程却达到了0.5mm。高音单元具有这样大的冲程，会让其在大动态下有比较稳定的表现。1500~20000Hz的频响也有利于分频的设计。H1212已被世界许多著名的高档音箱品牌所采用，设计出相当好声的箱子，这大大地增加了我的信心。

低音单元采用的是西雅士H1224-08 L18RNX/P（图3），H1224的盆架设计比较合理，令气流十分顺畅。其振膜是指数型的，附以相位锥来确保中频的指向性和延伸，实际测试频响也证实了这一点（图4），这样的单元除了低频表现好之外，中频也会有不错的表现。单元的T/S参数设计合理，适合做倒相式音箱。从其12mm冲程来看，其低频输出能力比以往的进口单元有了大幅度提升，而10年前流行的西雅士H416单元的冲程只有6mm。随着电子技术水平的进步，扬声器单

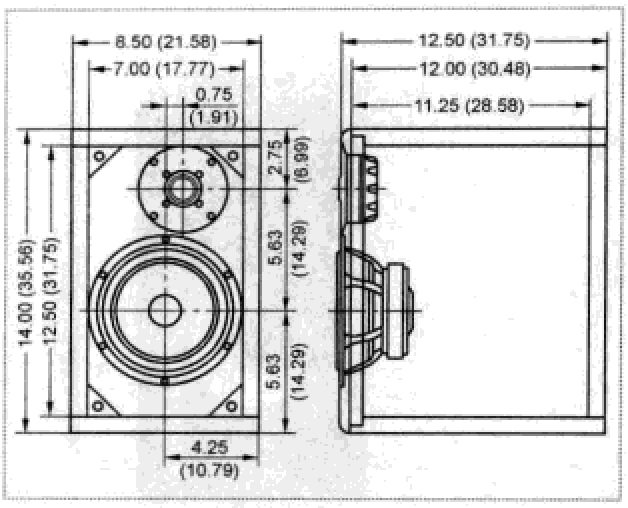


图5 箱体设计图（导相孔直接在高音后面开孔，直径5mm，长度12mm）

元的性能越来越好了。H1224可承载250W的大功率，保证了单元输出动态。经过对单元参数的计算，得出其低频可下潜至惊人的-3dB/45Hz，这可能会让许多8英寸甚至10英寸的扬声器都为之汗颜！另外，H1212与H1224的音色风格是一致的，这样会使音色的衔接相对容易许多。

箱体的设计

箱体是音箱的一个重要组成部分，好的箱体除了外观精美，内在的坚固、密度的均匀更为重要。好的箱体可以最大程度减少箱体内部的驻波，提高声音的纯净度。箱体的板材可以选用质量好的密度板，其内部也需进行一定的加固，如以前很流行的十字加固，近期也开始流行起一种“日”字加固法，更大程度地坚固了整个箱体。在低音单元处于较剧烈工作状态下，抑制低音单元的共振，从而提升音质。由于笔者比较喜欢“监听”风格的音箱，比较讲究定位准确，因此一般使用高、低音线性排列的方式。什么叫线性排列？简单地说就是让高音单元和低音单元发出的声音同时到达人耳，因此可以看到箱体的设计高音和低音进行了错开。由于H1224的参数更适合导相式音箱，所以把导相孔直接设计在了高音的背面（图5、图6）。有很多朋友音箱设计很不错，但最终因没在箱体上投足资金，吃了大亏。

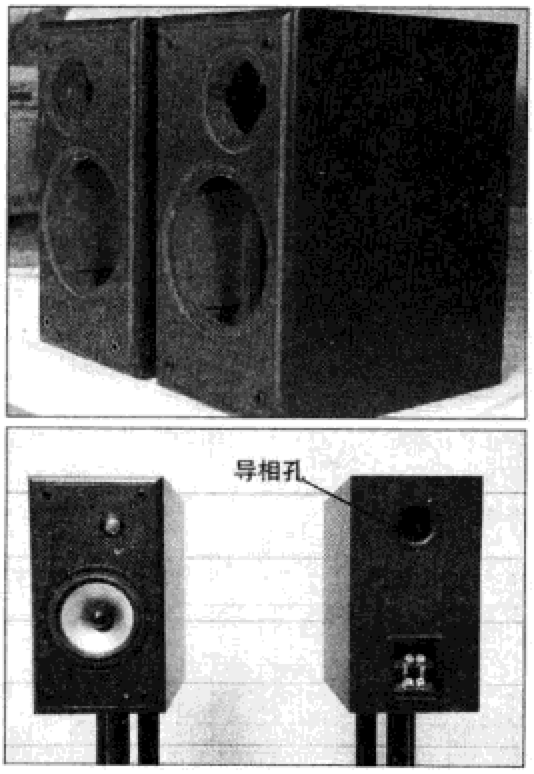


图6 箱体的实物图

分频器的制作

分频器的重要性不容置疑，可以说它是一个音箱的大脑或灵魂，它直接影响音质的好坏。要科学、合理、严谨地设计好音箱的分频器，才能有效地发挥扬声器单元的特性。合理的分频器可以使各单元扬长避短，淋漓尽致地发挥出各自应有的潜能，可以使各频段的频响变得平滑、声像相位

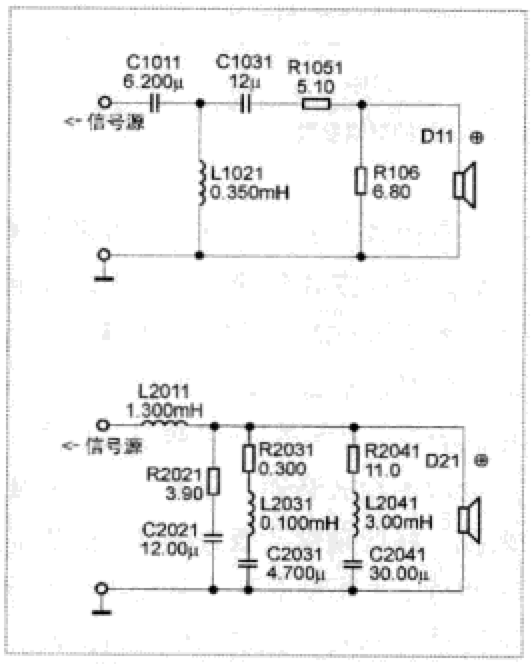


图7 分频器电路图

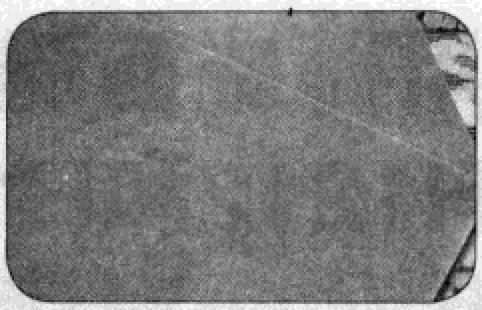


图8 分频底板

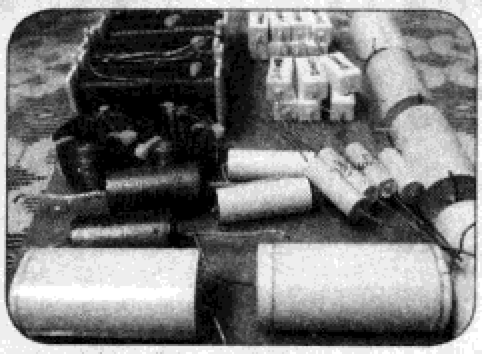


图9 在板上进行元器件摆位

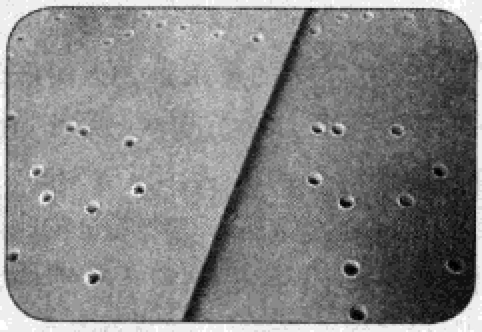


图10 根据摆位进行打孔

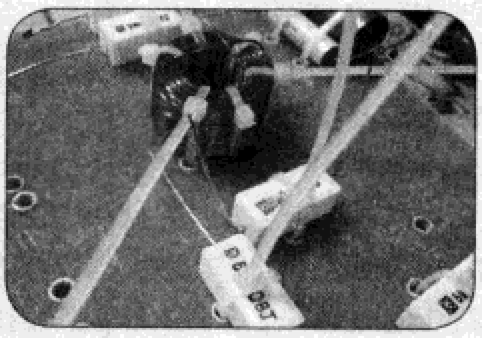


图11 用扎带对元器件进行固定

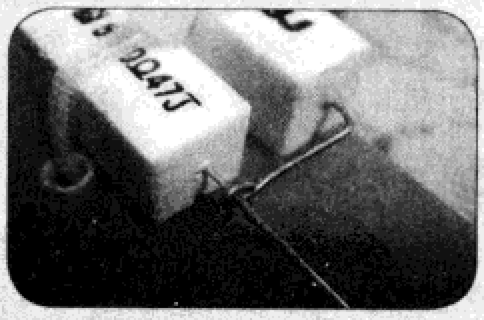


图12 勾焊方式

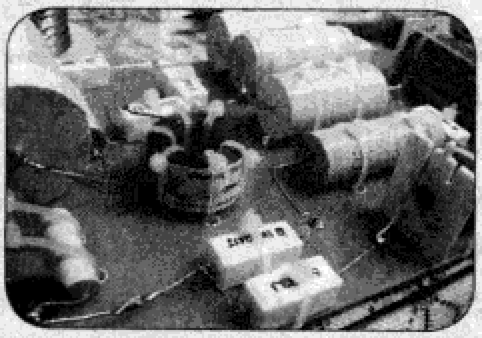


图13 最终制成的分频器

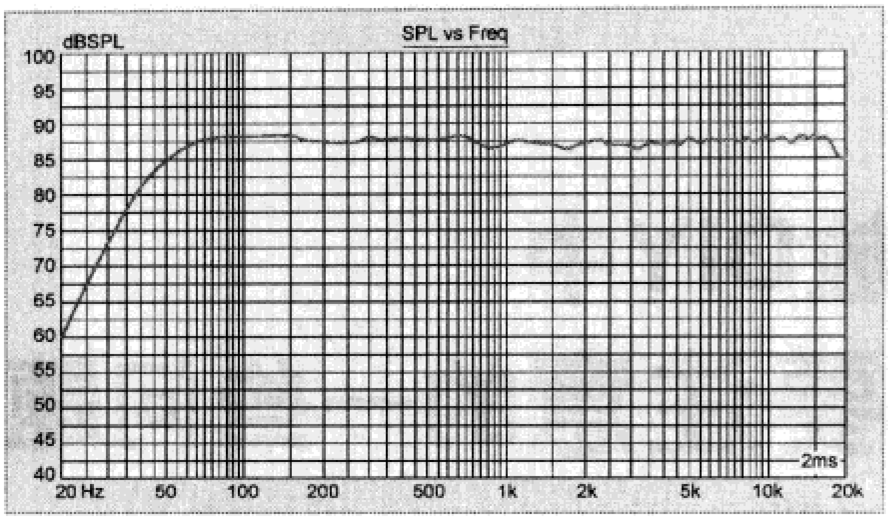


图14 箱子的频响曲线测试

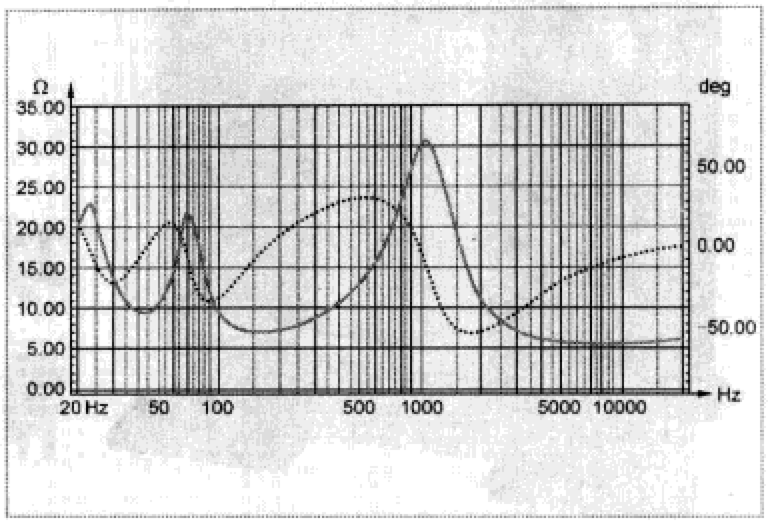


图15 箱子的阻抗曲线测试

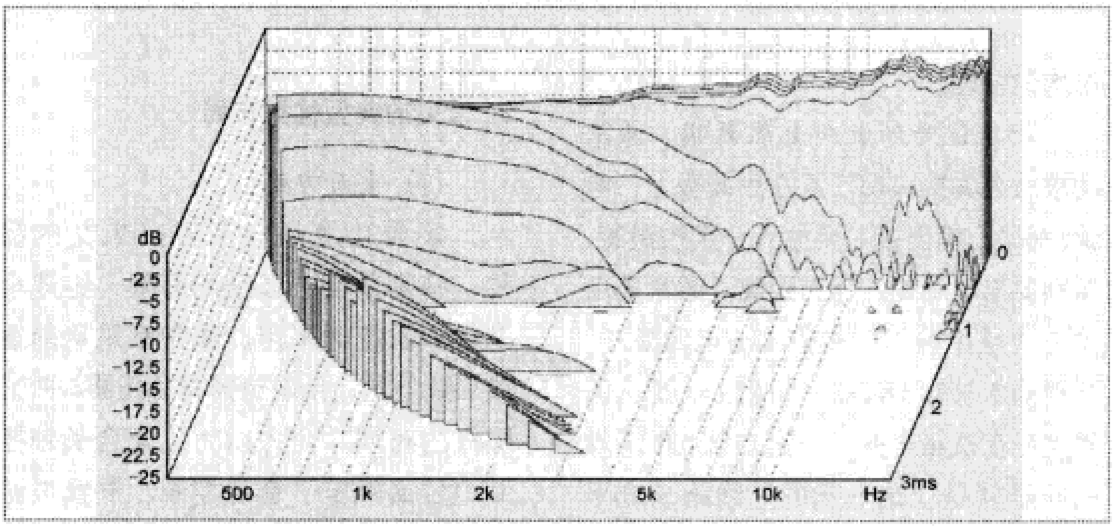


图16 瀑布图测试

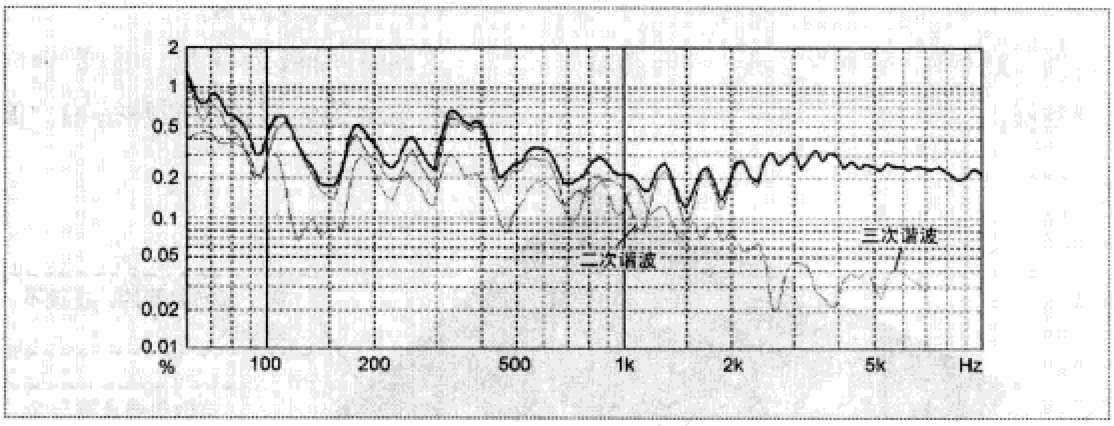


图17 失真测试

准确，可以使高、中、低音单元播放出来的音乐层次分明、合拍。

这款音箱的分频器是在ZAPH原有的设计上做了一些修改（图7）。

分频器的设计要做到严格、精确，在设计时，最好多备用几种选择方案，在最后的调试与试听时进行比较。分频器的元件的选择也有讲究，天价的发烧元器件虽然性能稳定，参数优异，但昂贵的费用，让我不得不放弃这个念头，最终的元件是根据自身的经验来进行挑选的。电阻最好是多买几个进行配对。元件的安装和布局需根据设计图在电脑中模拟好，电感的安装位置与方向也要符合物理定律。焊接时也要用质量较好的焊锡，让元器件能充分的“零距离接触”。

实际制作过程：挑选2块合适大小的底板（图8），先用元器件在板上进行摆位（图9）。随后在底板上面用电钻进行打孔（图10），元器件都用扎带进行固定（图11），分频元件之间的焊接采用勾焊方式（图12、图13）。

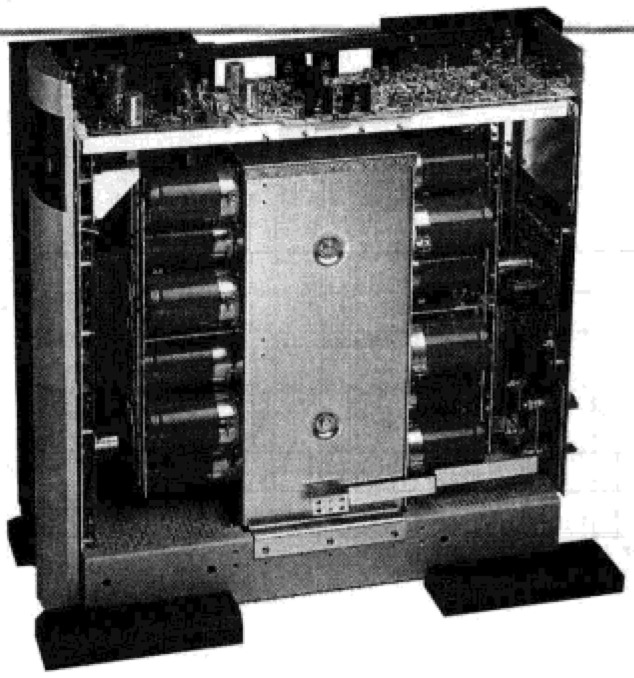
安装与调试

分频器完成后，先外置接起来试听一下，如没有问题，再将分频器直接用自攻螺丝拧在箱子的底板上，这样很牢固。随后放入吸音棉（大约所有面积的30%），最后将扬声器单元装上，一款可心音箱完成了，看着精美的箱子，心里十分欣慰。

一对好的音箱自然不能缺少客观测试，笔者对自己所设计的音箱也做了相关的测试（图14、图15、图16、图17）。让我很欣慰的是，测量结果与当初设计的思路十分吻合。

心得体会

音响器材的最终目的是为了重播音乐，如果脱离音乐本身，再名贵的器材，只是一堆华丽的摆设而已。一个人对声音的追求，必定是建立在他喜爱欣赏音乐的基础上的，然后再考虑如何把自己喜欢的乐曲重播得更真实、更美好一些。本人一路走来，免不了花些冤枉钱，我想很多烧友都是一样的。在DIY的道路上，不仅学到了很多知识，也找到追求与乐趣……



功放DIY中需要注意的一些问题

◎牛歌　王强述

功放是音响DIY发烧友制作最多的选项，也是很多焊机爱好者发烧的起点。不少烧友从功放DIY开始，在制作中积累总结，逐步成为了高手。那么在功放DIY中需要注意哪些问题呢？笔者结合自己的焊机实践，在此列举一二，以作引玉之砖，希望能为大家提供一些参考。

布局问题

整体布局是DIY首先需要考虑的问题，也是DIY水平体现的基本方面，在整体布局方面考虑得越多，后面的制作遇到的问题就会越少，通常的思路是根据功放的功率输出设定和使用环境，对整体进行布局安排，即重点考虑供电、散热、信号流程，走线排布等。

1. 布局的基本原则

（1）***使整机的热量尽量有效地散发出去***：功放是一个功率单元，在整个音响系统中是耗电和发热的大户。整机的设计要保证功放产生的热量能够高效地散发出去。因为高温不仅会影响设备的稳定性和可靠性，还会降低很多元件的使用寿命。

（2）***整机的重量分布尽量均匀合理***：整体的重量分配，对于机壳的受力，整体的防震效果都是有影响的。在保证布局合理的前提下尽量使整机的重量分布均匀合理。

（3）***信号的流向自然简明***：通常功放所有的接口都安置在后面板上，电源、输入、输出接口要拉开一定的距离，特别要与电源输入保持距离。通常采用的方式是用输出口将输入与电源隔开。既然输入与输出都在后面板上，那么信号就是在机箱里兜了一圈，重点要考虑的问题就是让这一圈的总线路长度尽量小，而且走向简洁。

（4）各个部件或功能模块的分布合理，既有利于功能的实现，又尽量减少互扰。

2. 常见的典型优秀布局

（1）*桌面功放*

桌面功放是一个方兴未艾的品种，特别适合听音空间有限，组建小型音响系统时采用。通常都采用前置或后置电源，用散热器将变压器与PCB隔开的布局。个人以为，配合长轴控制电位器或电子音量控制，前置电源的布局更加合理，见图1。

（2）*传统台式功放*

这种布局最为常见，主要分内置散热与两侧外置散热两种结构。值

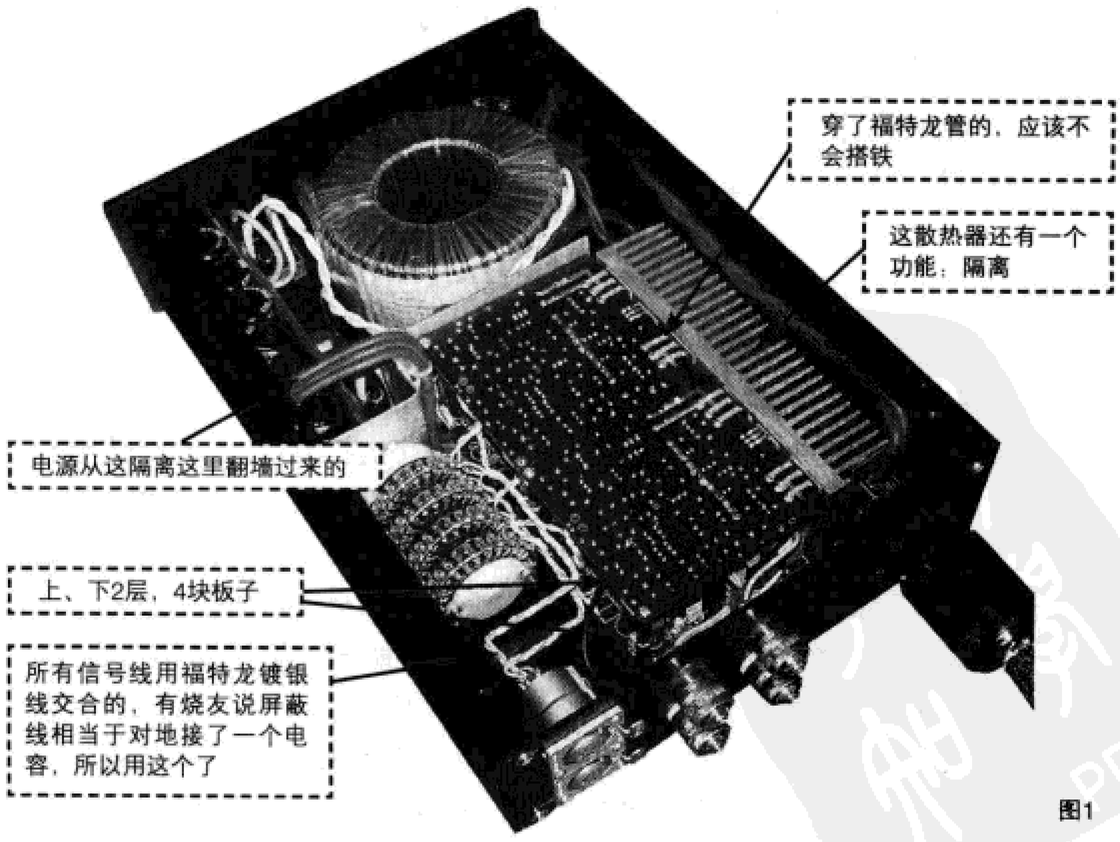


图1

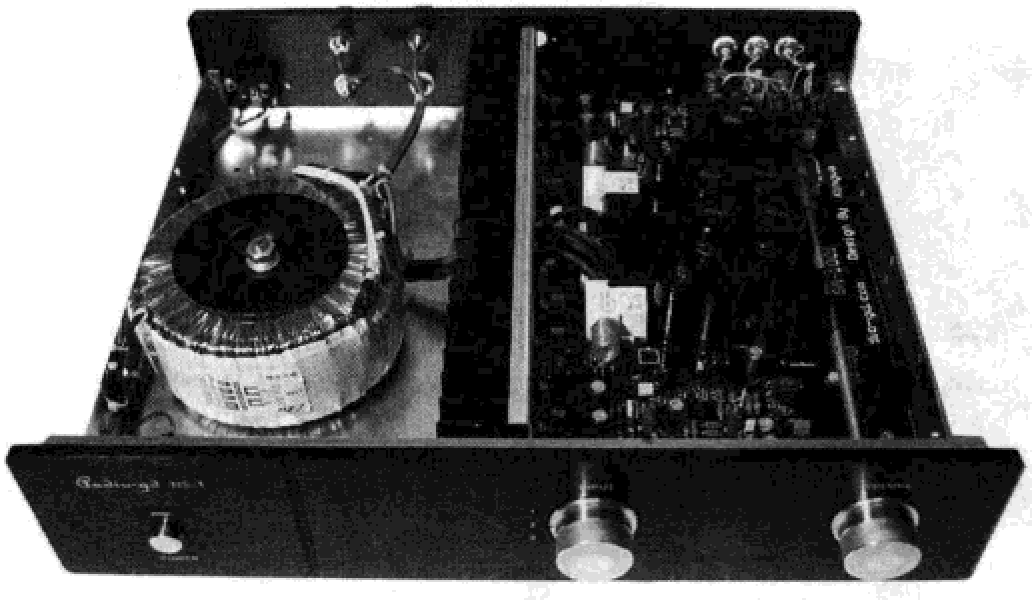


图2

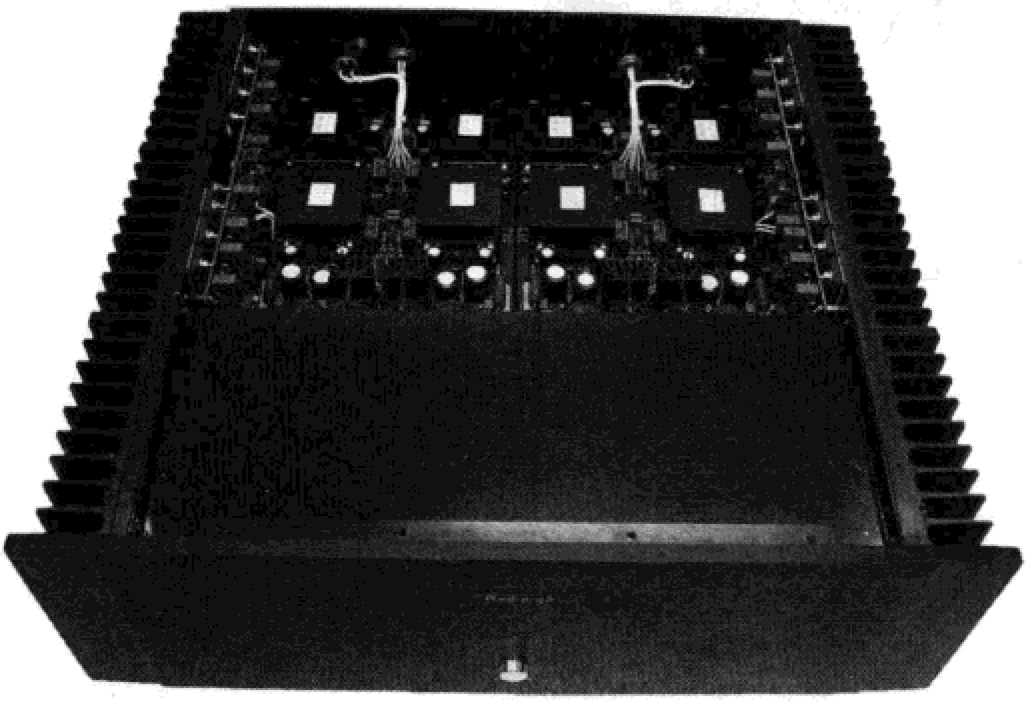


图3

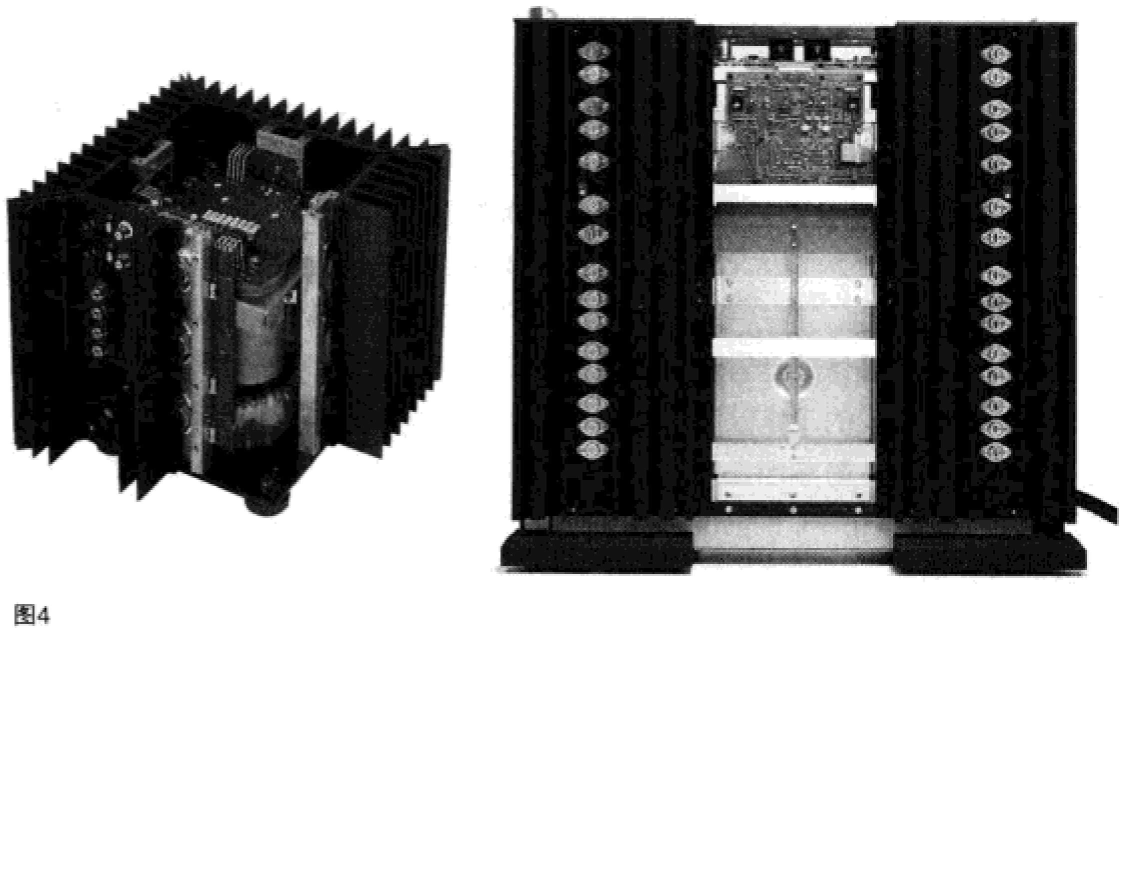


图4

得一提的是如果采用内置散热，机箱顶板和底板对应散热器翼片的空隙的位置一定要开散热孔，以利空气的流通。内置散热结构多见于合并机，通常依次摆放变压器、散热器、PCB，利用散热器充当屏蔽，减少电源变压器的干扰。通常利用拉索开关或继电器进入输入切换，配合长轴电位器或电子音量控制来缩短信号路径。两侧外置散热的结构多见于纯后级，通常从内到外依次布置电源、PCB和散热器，也有个别的会有所变化，内置散热结构见图2。两侧外置散热结构见图3。

(3) *立式功放*

这个属于一种异形设计。通常用在对占地面积有要求的场所，有些Hi-End机型偏好这种布局设计。这种布局彰显个性，散热良好，便于分层布置功能模块。但机箱结构件较复杂，连线和装配也都比较复杂，其散热器通常外置两侧，见图4。

特别需要提出的是，由于在业余条件下自己进行五金加工难度较大，通常烧友都采用购买成品机箱后稍加改造的方式来进行制作。市售的机箱有一个普遍的问题，即为了美观而把面板做得很厚，通常都在5mm以上，不少作品甚至达到10mm，明显是强度过剩；而对于面积最大，真正需要受力的底板和顶板的材质却不讲究。实际上底板和顶板的强度是很重要的，特别是通常作为整个器材基座的底板。如果用料太薄，在放置变压器等重量级元件后就会发生明显变形，这样不仅影响装配，还可能使安置其上的PCB发生变形产生故障隐患。轻薄的大面积板材还可能在大音量下产生明显的振动，产生一系列的干扰，所以在机箱的选择上要特别注意整体的强度是否达标。

无论采用哪种布局结构，都应该使变压器与PCB保持一定的距离，通常用散热器将PCB与电源变压器部分

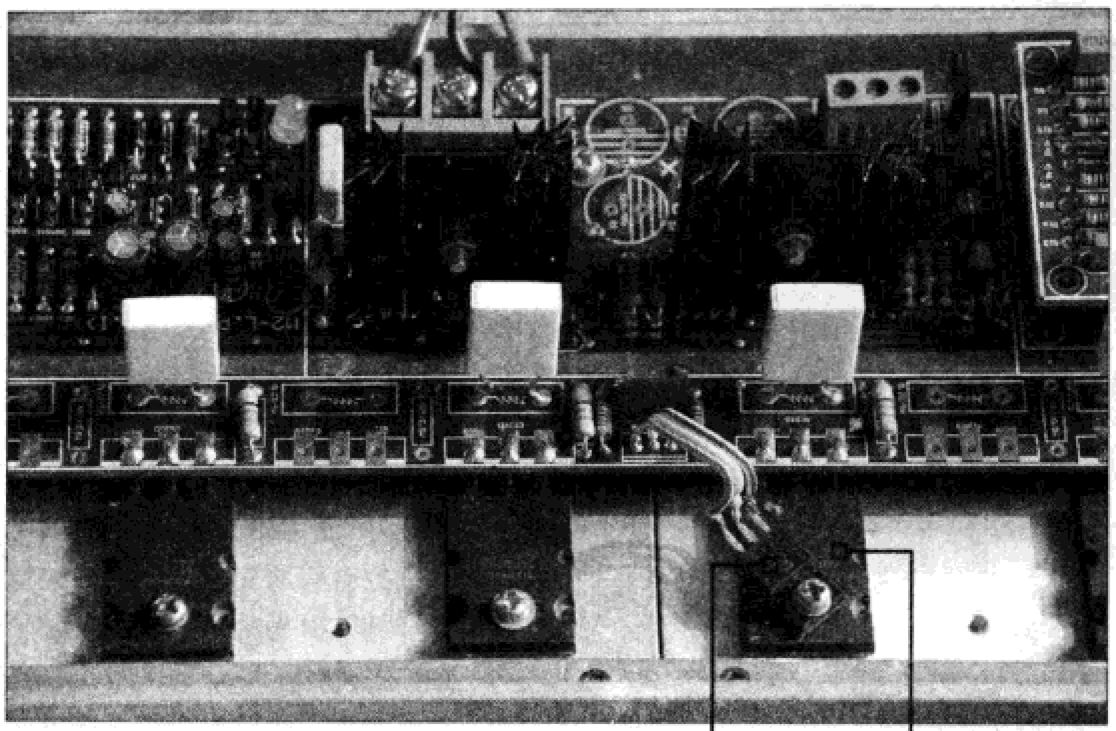


图5

隔离，并使小信号线与电源部分尽可能远，以最大限度地降低干扰。在接地时要注意一点接地与就近接地相结合，使线路尽量短，信号的回路面积尽可能小，这样可提高信噪比，提高稳定性。

如果是自然对流散热，散热器的翼片走向一定要与空气的流向保持一致，通常都要垂直放置，以达到最佳的散热效果。如果由于散热器本身形状限制，或机箱结构限制，翼片不能垂直放置的话，那就必须考虑加装风扇，在布局上形成风道，以保证在高温环境和大动态工作时器材的安全。毕竟一台功放造价不菲，如果因散热不利而烧毁元器件，损失的不仅仅是金钱，更重要的是对DIY的热情和信心的打击。

安装之前的工作

1. 走线排布

功率走线（如电源和输出等）需要使用粗壮的线材，小信号线要注意屏蔽，有条件可以选取双芯屏蔽线，两根芯线传送信号，外屏蔽层单端接地，对于干扰的屏蔽效果要强于单芯屏蔽线。

强、弱信号线路要拉开距离，对于强电流线如电源和输出，可以紧密绞合，可以减少辐射和受干扰的机会。线路在机箱内的位置和固定方式都要提前考虑。所有的线路都应该分组捆扎，缩短线路的长度，减小回路的面积，合理进行固定，尽量避免振动。

在接地上要将一点接地和就近接地相结合，以信号流向最合理，干扰最小为宜。这个需要进行大量的实验才能找到最合理的方法。

2. 温度补偿

我们都知道晶体管是对温度很敏感的器件，在不同的工作温度下参数会有很大的变化。简单地说，晶体管的PN结具有约－2mV/℃的温度系数，即温度每升高1℃，PN结的导通电压就会降低2mV。末级功率管通常只加有很小的电流负反馈，射极电阻通常只有0.2Ω，而功率管从冷态到满功率时的工作温度相差很大，很容易达到50℃。如果不加温度补偿，静态电流的波动很容易超过500mA。而且更要命的是这种循环会以正反馈的方式进行，结果是静态电流和管温不断升高，最终导致晶体管热崩溃，即通常说的“烧管”、“放烟花”等。很多功放板在设计PCB时，温度补偿管子都是和末级管子并排放置，有的甚至距离较远。这并不是错误，但你若也简单地并排安装，那就犯了另一个基本错误。放置于一旁的温补管，由于散热器有很大的热惰性，并不能及时检测到末级电流管的温度变化，也就无法准确地进行温度补偿，这不仅对于功放的工作点稳定不利，而且还有非常大的安全隐患。这种简单的安装在乙类工作状态时可能看不出什么，但电流一旦调大也许就会放起烟花。

正确的安装是将温补管紧贴于功率管上（紧密的热耦合），连线引到PCB上。如果出现过补偿，可以在其射极加一个电阻或在接触面上加垫云母片作调整。对于整机来说，略微地过补偿是安全之举。对于场效应管，也不要因为所谓的“负温度”系数而大意，仍然要根据实际情况采取相应的措施，见图5。

值得注意的是，末级静态电流可调电位器的接法，基本原则是，在保证在电位器失效的情况下功放仍处于安全的工作状态。可调电位器失效通常是触点开路，电路设计和接法上要保证失效时温补管处于导通状态，将末级的工作状态限定在纯乙类。如果触点开路后，温补管处于截止状态（失去作用），则会产生灾难性的后果，图6所示的是一款功放电路，其中的VT1就是温补管。

在调整末级功率管静态电流时，应该逐渐增加，根据散热设计和使用

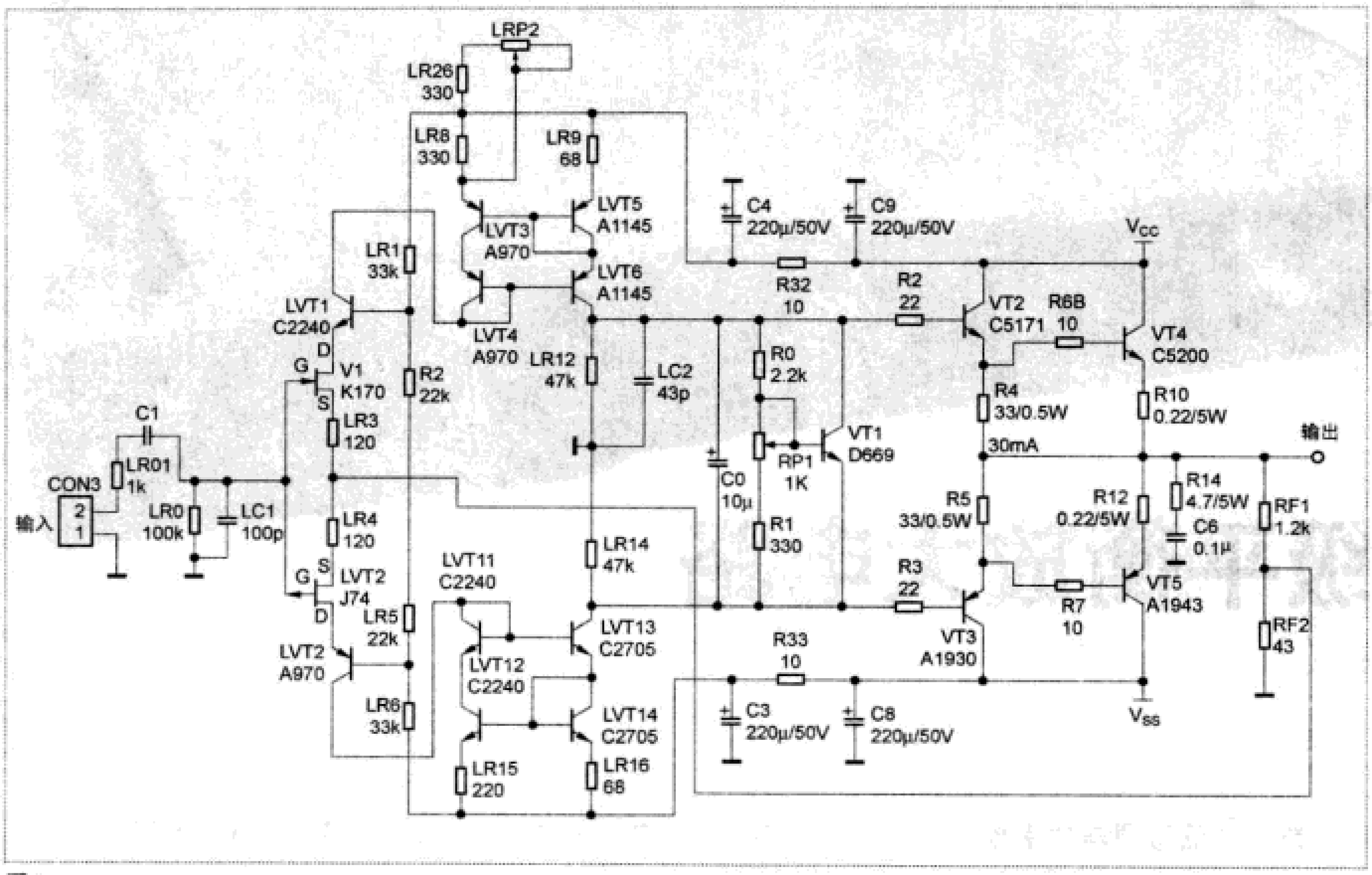


图6

负荷、听音表现，综合确定静态电流的大小。初级烧友通常迷信大电流会好声，其实调大静态电流，通常会增加功放的阻尼系数，使控制力有所增加，同时管温的升高，会使声音在一定程度上“变暖”，但并非一定有效。盲目增加静态电流，会增加功耗，使全机工作温度升高，影响稳定性，而且对于特定的电路来说，未必会有声音的改善，反而可能削弱声音的解析力，或使低音变软等。所以一定要结合电路特性和实际听音的感受来调整静态电流。

3. 小电容

除了发烧友津津乐道的“大水塘”（大电容器）外，功放电路中还有很多不太起眼的小容量电容器。有些作为稳压电路的输出储能，有些作为电路的局部退耦。这些电容虽然个头小，价格低，但在电路中所起的作用可能并不比“大水塘”小。稳压输出储能用的电容通常容量不大，但质量一定要高。电路中随处可见的退耦电容，可以改善局部电路的供电、旁路干扰、消除自激，对于功放的稳定性和音质表现都有很大的好处。单个的电容也许不能在听觉上反映出什么变化，但考虑到它们数量众多，积累起来的效果还是不可忽视的。

很多烧友不喜欢装pF级的小电容，认为会影响带宽和瞬态表现。我想说的是安全第一。要保证安全，限制放大器的带宽，控制相移是必要的安全措施，pF级的电容的作用正在于此。在没有相关测试仪器（如仅依靠万用表）调试时，更应该把安全放在第一位。我曾装过一台功放，听音没有问题，但用示波器可以看到寄生振荡，虽然幅度很小，但却可能在一定条件下（如接入复合负载）使放大器彻底变成振荡器。更何况去掉电容也未必就会好声。对待pF级小电容，应该先接上，再视情况作调整。

4. 跑线路与测元件

不少烧友是买套件进行组装或是买了PCB后自己备件来装。像这种情况，拿到PCB后，一定要对照原理图进行分析和检查，俗称“跑线路”或“跑板”，这样做有两个好处：一是在电路设计中可能会有微小的调整，造成原理图与PCB局部不完全相符，经过这样的检查可以做到心中有数；二是可以体会PCB设计的思路和方法，特别是对于那些精心设计、多版本改良的PCB，更要认真揣摩，仔细研究，从中可以学到许多东西。因此，在制作中不要急于安装，我们不当装配工，我们要从DIY中学到更多的东西，享受更多的乐趣。

测量元件也是一件必须要做的工作。新购的元件虽然极少会有质量问题，但也并非万无一失，尤其对于二手元件更要认真去做。对所有元件上机前进行测量，养成严谨的制作习惯，有百利而无一害，万一哪个元件有问题而上了PCB，加电很可能会造成巨大损失，就算没啥损失，你想把它找出来，恐怕就麻烦得多了。

整机的声音调整

不要迷信补品，很多补品有很强的声音个性，而理想的放大器应该是中性的表现，工作点的调整很多时候会比使用补品效果更好。

声音的调整应该在机器充分老化，声音表现稳定下来后再进行，应结合仪表和实际听音表现进行。波形好看未必声音好听，听音时最好有高素质的参考器材进行参照对比进行，以避免主观判断出现较大的误差。

◎陈永胜

一款前级平衡放大电路

前级放大电路的工作位置处于信号源与功率放大器之间，它的主要作用是补偿放音系统的增益、使信号源与功率放大器信号匹配、平衡与非平衡信号的转换，同时有调相作用。

前级平衡放大电路通常可以由运算放大器或晶体管分立元件组成，由于运算放大器的一些技术指标限制，笔者决定使用晶体管分立元件设计一款性能较高的前级平衡放大电路，如图1所示。

音频线路传输分析

1. 音频线路信号的0dBm电平

0dBm电平是指在600Ω的负载电阻上耗散了1mW的功率，表示是0dBm电平强度，通过有关的换算所得，在600Ω的负载电阻上产生775mV的电压。为了使用方便有时也会使用0dBV，0dBV=1V。音频信号经常使用0dB来说明信号是否正常，比0dB小的信号表示没有受到电路输出动态限制，不会产生过载削波失真，但电平过低会使信噪比降低，比0dB大（指示在红色位置）会产生严重削波失真。音频线路使用600Ω的负载阻抗是非常合适的，这样可得到较低的失真和较高的信噪比。

2. 平衡信号的优点

音频信号线路传输有两种类型，第一类是非平衡（单端信号）传输，它由一个信号端和一个地端组成，传输信号线是由芯线和屏蔽网线组成，在长距离信号传输中，信号较容易感应空间的电磁波干扰而降低信噪比。第二类是平衡（双端信号）传输，它由一个正相信号端和一个负相信号端与一个地端组成，传输信号线是由两条芯线和屏蔽网线组成，两条芯线虽然同样也会感应干扰，但是两条芯线感应的干扰是共模信号，而平衡输入放大电路只对差模信号有放大作用，对共模信号有抑制作用，两条芯线感应的干扰噪声会自动衰减掉。

3. 输入与输出阻抗匹配

在《电工基础》理论中说道阻抗匹配时，即后级输入电阻等于前级输出电阻，后级负载可获得最大的功率，阻抗匹配能得到较低失真和较高信噪比。在《电子电路基础》理论中有反相放大电路输入电阻较低，较容易实现阻抗匹配一说，而且电路增益可大于1倍也可小于1倍，利用该增益特点可实现音量控制调节。

电路分析

电路信号接口使用卡农接头作平衡信号输入、输出，RCA接头为单端信号输入、输出。RCAIN与RCAOUT+是同相，与RCAOUT-是反相，这样进行相位调整，扩展了前级放大器适用于其他器材的通用性。

S1-1、S1-2为平衡与非平衡信号输入选择开关，使两种类型的输入信号都能工作于本电路。

S2-1、S2-2、 S3-1、S3-2为电路增益控制开关，也是该电路的音量调节开关，S2-1、S2-2为主音量调节，S3-1、S3-2为副音量调节，两组开关配合使用能有效扩大音量调节范围。对于一款性能要求高的前级放大电路，音量电位器的设置是一件较难处理的问题，音量电位器若安装在前级放大

电路的输入端。由于一开始就对输入信号进行衰减，因此对信号的动态处理控制是有利的，但是会降低信噪比，也会增大开机冲击噪声。音量电位器若安装在前级放大电路的输出端，则与安装在输入端的效果相反。虽然输入端与输出端都可安装衰减式电位器，但是电位器的线性度差会严重影响左右声道的平衡，为此，本电路决定采用调节电路的增益量来调节音量。降低电路的增益可以带来有效的降低电路的失真度、提高电路信噪比、展宽电路的频率响应等优点。

基极偏置稳压电路，集成电路稳压IC虽然有很高的稳压精度，但是它的高频噪声也很大。本电路只有两级放大，相对三级以上的放大电路，其直流总增益低，而且信号的工作电平较低，虽然普通稳压二极管的稳压度较低，但是噪声值也较低，综合平衡，普通稳压二极管较适合本电路使用。

电路相关元件作用，R1、R2、R3、R53、R54、C1、C2、C3、C8、C9组成低通滤波电路，减小射频信号对电路的干扰，提高信噪比，对音色也有一定调整作用。隔离电阻R55、R56、R57、R58减小两组输出的相互影响。R4、R5、R6、R59、R60下拉电阻能有效降低耦合电容漏电产生的直流电压，使开关在转换时的冲击噪声降到最低。

电路的计算

1. 相关参数的计算：前级放大电路的最大输入信号一般在0dBm电平，现时最高输出的音源是CD机的电压（达2V）。前级放大电路的最高电压增益为10倍，按最大限度来计算前级放大电路的最高输出电压U_O（达20V）。考虑到放大电路对电源的利用率，工作供电直流电压V_{CC}应该比20V大一些，安全一些就取V_{CC}为36V。

2. 直流计算：根据U_O、R_L计算各级静态工作电流。前级放大电路和静态工作电流较小的电路，要得到低的失真时都要工作在甲类状态。输出负载电阻若按600Ω来计算，那么VT5的集电极静态工作电流的下限为（U_O/600Ω）/2≈33mA/2，考虑到电路实际输出电压比20V高一些，于是I_{C5}就取50mA。现时的中功率管和小功率管的β都会高于100倍，当β_5=100倍时，则有I_{B5}=50/100=0.5（mA），I_{C1}一般要比I_{B5}大些，则有I_{C1}为1mA，当β_1=200倍时，则有I_{B1}=0.5/200=0.0025（mA）。

根据V_{CC}、I_{C1}、I_{C5}计算电路中各电阻的阻值，三极管共发射极放大电路采用分压式偏置工作，为了能较稳定地工作，其偏置电路的电流一般是I_{B1}的5~10倍，用100倍来计算，则有I_{R27}=I_{R31}=0.0025×100=0.25（mA），$R27+R31$=24/0.25=96（kΩ）。第一级VT1、VT3的主要作用是差分放大，它的交流电压放大倍数$Au1$可在5~10倍，表示VT1工作在深度负反馈，$Au1$可约等于$R35/R39$的比值，VT1和VT5工作在线性放大区，U_{BE1}与U_{BE5}约为0.7V，迭加上R39产生的电压，$UB1$必须大于0.7V，可将U_{B1}选为1V，则有$R31$=（1/24）（$R27+R31$）=4kΩ，$R27$=96kΩ−4kΩ=92kΩ。$I_{C1}\approx I_{E1}$=1mA，R39=（$U_{B1}-U_{BE1}$）/I_{E1}=（1−0.7）/0.001=300（Ω）。R35=$Au1$×R39=10×300Ω=3kΩ。电阻R35的电压为$U_{R35}=I_{C1}\times R35$=1mA×3kΩ=3V，$U_{R43}=U_{R35}-U_{BE5}$=3V−0.7V=2.3V，$R43=U_{R43}/I_{C5}$=2.3/0.05=46（Ω）。因为实际使用

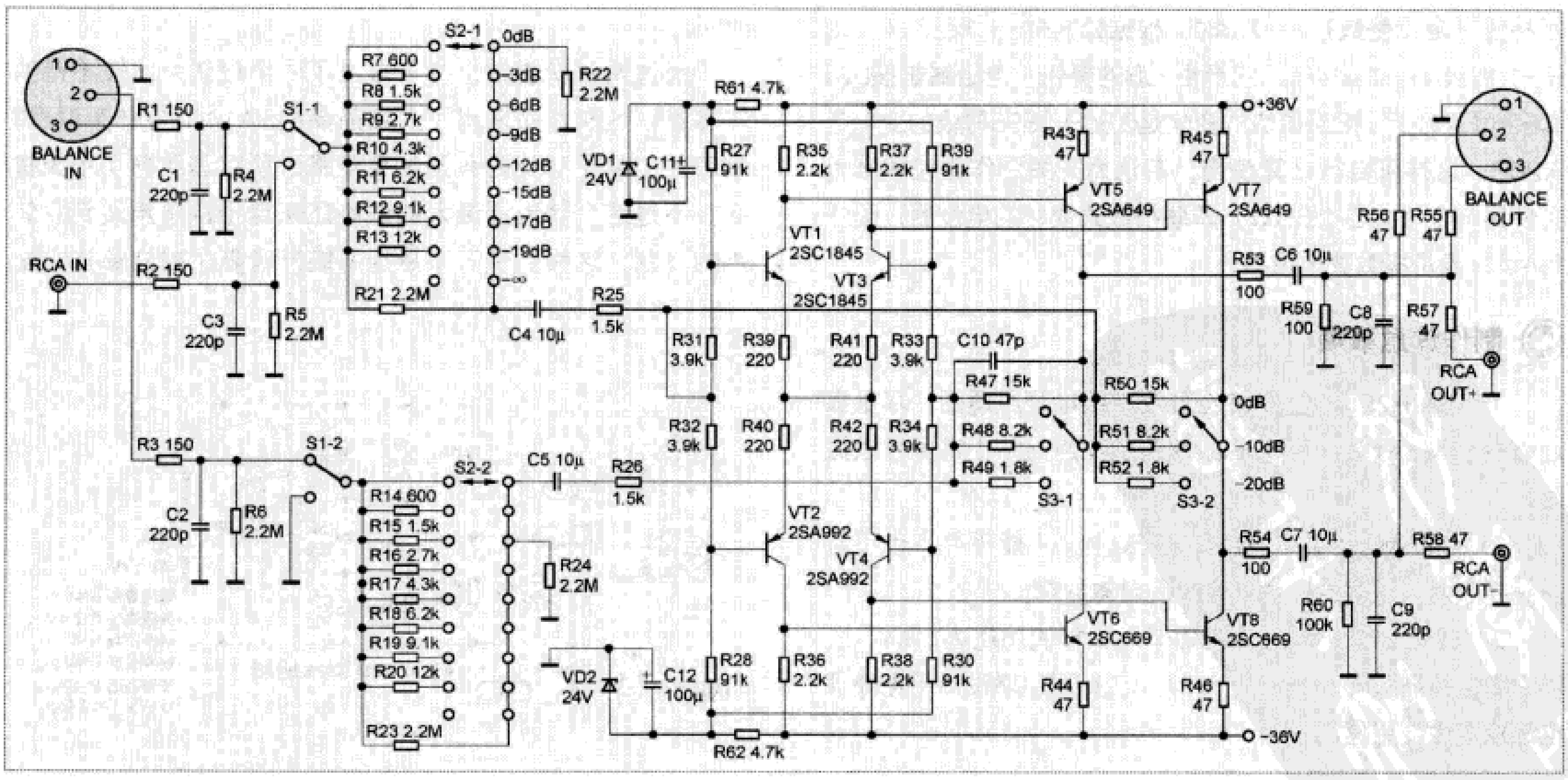


图1 两级放大平衡前级

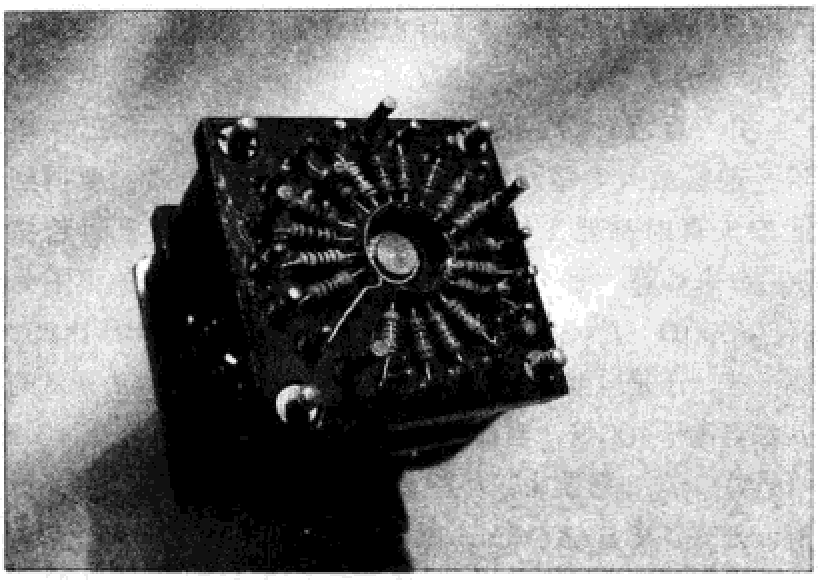


图2 S2开关的安装

的三极管的 β 值会比计算的值大得多，U_{BE} 会比 0.7V 小，所以计算的电阻值与电路图的电阻值有些差异。

3. 交流计算：前级的音量控制是通过调节电路的增益来改变声音大小的，电路是电压并联型负反馈，电路增益由R50与R25来改变，最高增益是$Au=R50/R25=15/1.5=10$（倍），音量处-3dB挡位时，增益为$Au=R50/(R25+R7)=15/(1.5+0.6)\approx 7$（倍）。人耳的听觉特性是在较大和较小音量时敏感度较低，约3dB的变化量时才有感觉。中等音量时对2dB的变化量就有感觉了。由于开关挡位有限，一般在20挡左右，为此可在前5挡和后5挡时，使用3dB的变化，在中间10挡时，使用2dB的变化，这样可在有限的挡位做出最大的变化量。

$R_0=R25+R7$，当R_0变化1.1225倍就有1dB的变化，n表示挡位（是正整数），n为3时，根据公式$Rn=1.1225^nR_0$，则$R_3=1.1225^3R_0=1.414R_0$，约产生3dB的变化。电阻器是按E24和E96系列生产，E24每级的变化是0.8dB，E96每级的变化是0.2dB，这样可自行计算使用。若认为开关制作比较困难也可使用一个（100~250kΩ）四联指数式变化的电位器，国外用A型来表示指数式电位器。

制作注意事项

1. 电阻R25、R26安装位置要按照电路原理图，尽量靠近VT1~VT4三极管，可减小S2感应的噪声而防止寄生自激振荡。

2. 电容器C10并联在R47或R50上，不能不并，也不能同时并联两只电容器，否则会出现自激振荡。

3. VT5、VT6、VT7、VT8每个三极管的功耗达1.8W，必须安装散热器散热。对VT1、VT2、VT3、VT4增设热平衡处理电路稳定性会更佳。

4. 开关S2安装图片，见图片2。

DIY无线音频转发器

◎刘丁

最近，为了在驾车时能收听MP3机，打算DIY一个无线音频转发器。两三个月来搜罗了一大堆设计方案，折腾出七八个样品，积累了一些经验，现写出来给大家分享一下。

首先介绍第一个作品，电路如图1所示。此电路采用1只三极管9018构成振荡器。音频信号从三极管基极输入，利用三极管的be结变容二极管特性实现调频。该电路虽然简单，但音质很差，振荡电路稳定性非常不好，人体或金属物在天线附近出现都会改变振荡频率，从而导致接收端的不稳定。而且该电路只能传送单声道的音频，使用者无法聆听到高品质的立体声音乐，这就好比驾驶七八万元价位的汽车，能开，但谈不上舒适度。

第一个转发器刚试听了一次，副座上的美女就受不了，说把她的偶像“后街男孩”的声音整得一塌糊涂……她的感受使我无地自容，于是发愤图强，开始了更高级别转发器的研制。

经过两三次尝试，终于做出了一个自认为比较不错的转发器。这次作品采用了大名鼎鼎的BA1404立体声FM调制芯片。由于芯片内有预加重电路，所以音质有了很大提高。不过这个转发器最大的进步还来自于从单声道到立体声的飞跃，这相当于汽车悬挂系统升级到了独立悬挂，坐

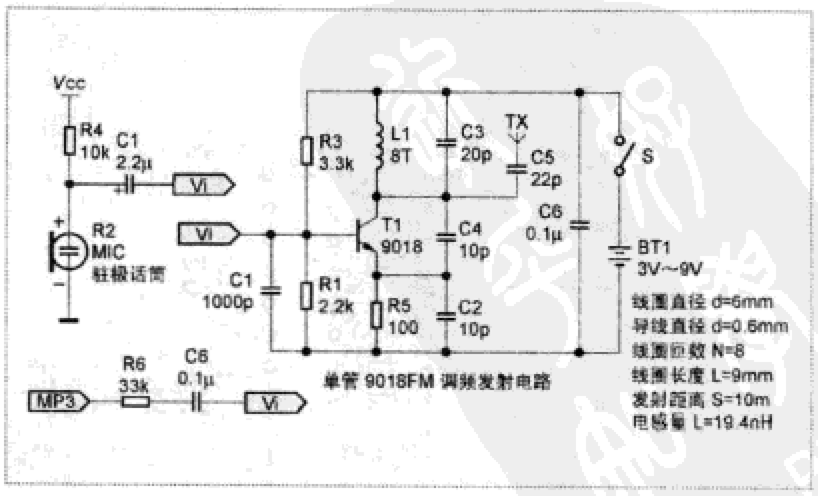


图1 单管9018FM调频发射电路

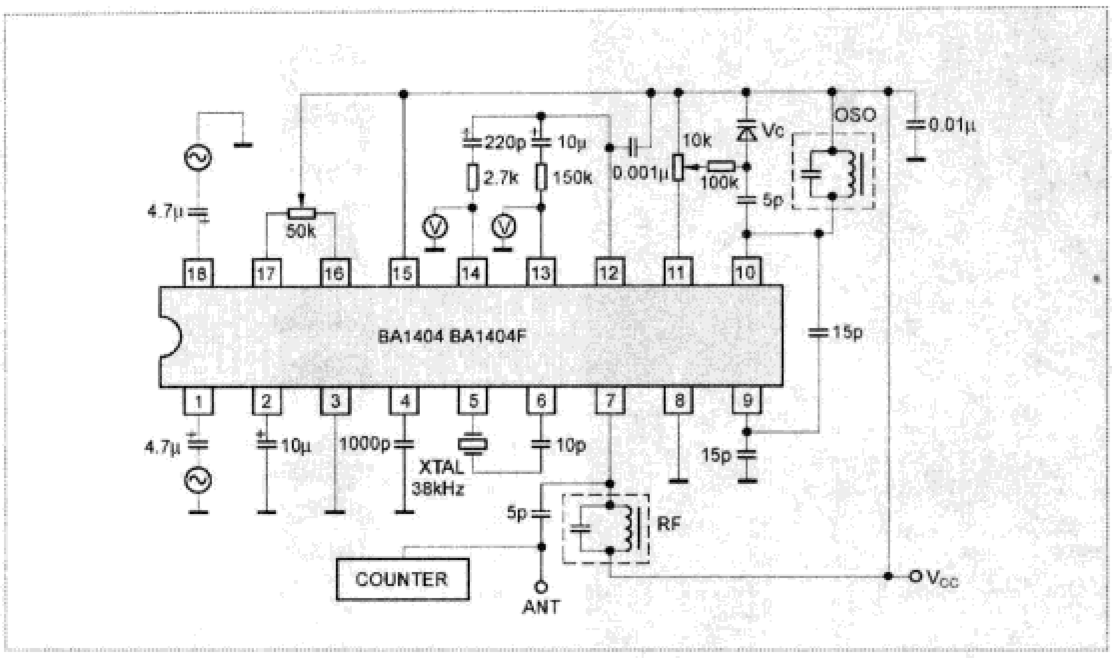


图2 采用BA1404立体声FM调频发射电路

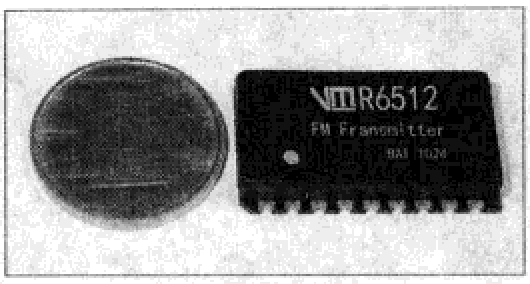


图3 VMR6512模块外形图

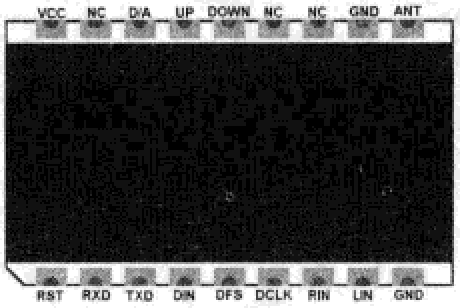


图4 VMR6512模块引脚说明

着舒服多了。

第二个作品的电路如图2所示。虽然与单管的转发器比较，BA1404不仅可以传送立体声信号，而且音质也有了明显提高，但是分离度、频响等指标仍然不是很理想，BA1404的音质距离欣赏高质量音乐仍然有相当大的差距。最重要的是由于BA1404内部采用的仍然是LC振荡器，因此频率的稳定性仍然不够好。放在车内的时候，人稍微动一下，就会让收音机“喳喳”响，就为这又被副座的美女鄙视，因此我下决心打造一款极品转发器。

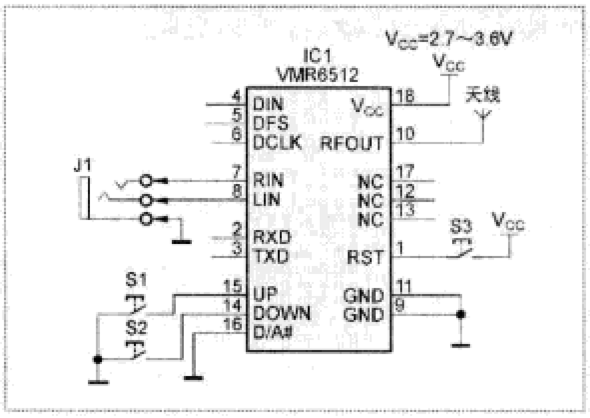


图5 用VMR6512模块制作的无线音频发射电路

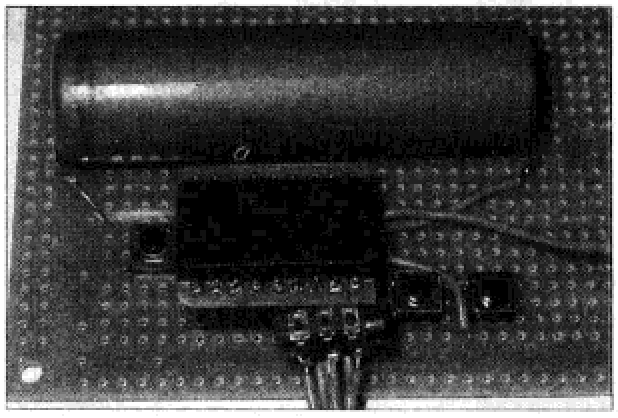


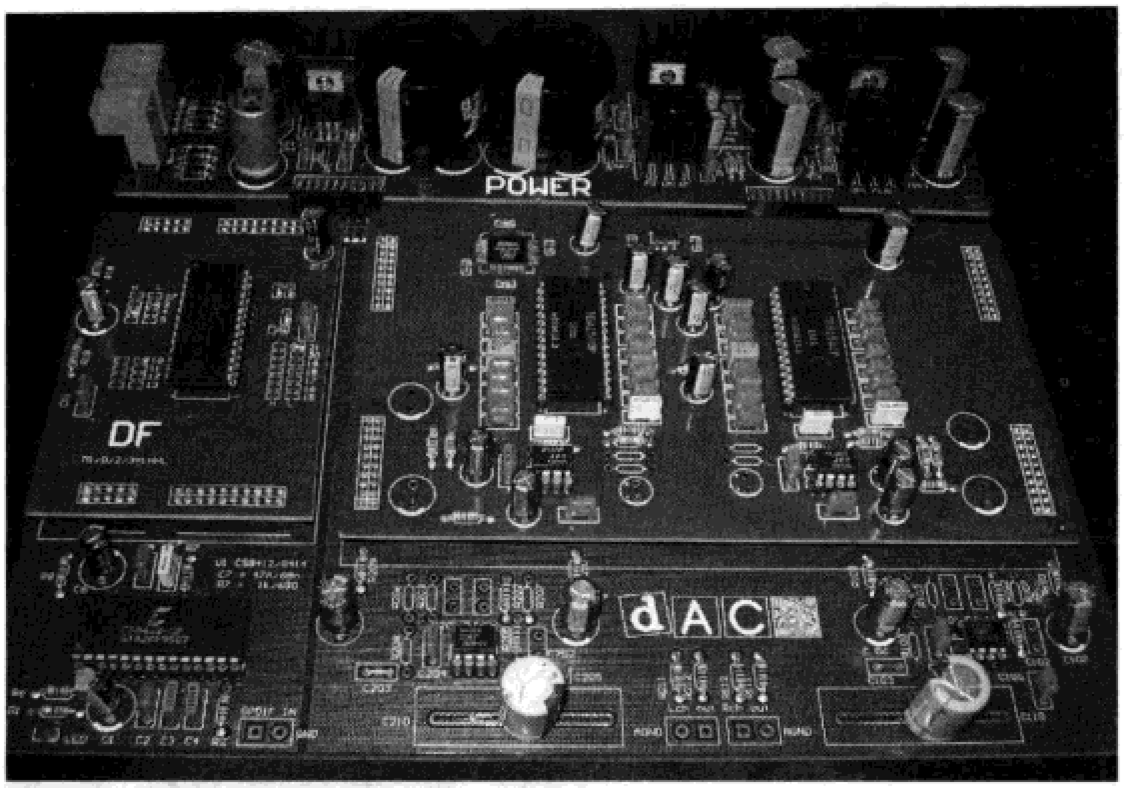
图6 成品电路

经过一个多月呕心沥血，用了四五种不同的芯片试验了几套方案，终于打造出了一款完美的无线音频转发器终极版。在这个终极版中采用了DSP数字处理方式，88.0~108.0MHz任意频点发射，可方便地以0.1MHz频率步进调整，所得到的是高分离度的立体声，随便摸都不会跑频。论档次，至少相当于奔驰S级、BMW7系或者辉腾级别的汽车。不过各位别被这些东西吓坏了，以为这个转发器会需要一个大柜子来装电路板。恰恰相反，这是我做过的转发器里面最简单的一个，简单到不需要一个电阻、电容或者电感就能搞定。听起来像天方夜谭，不过还真就是这么回事！这就是我要隆重而强烈推荐的VMR6512无线音频转发模块。该模块在本期《无线电》杂志上可免费申请，在淘宝上也能买到，相比于性能而言价格很便宜。最大的特点还是电路超级简单，电路板都不用做，整个洞洞板连几根线就搞定！

图3所示的是VMR6512模块的外形，其引脚功能如图4所示，用VMR6512模块制作的无线音频转发器电路如图5所示，成品电路如图6所示。除了外观，我保证性能毫不逊色！在车上用收音机听MP3，或者想移动收听家里的CD等，效果都非常好，赶紧扔了你原来的转发器，找一片VMR6512去DIY吧！

模块赠送

本刊向广大爱好者免费提供VMA2012、VMA2013/2015、VMA2016、VMR6512、VMP3110、VMP3111模块及VMA2012、VMA2013/2015、VMA2016成品功放板样品。以上VM系列模块的详细资料及本次赠送的各模块数量请到本刊网站查询（www.radio.com.cn）。数量有限，机会难得，感兴趣的读者可通过电子邮件到radio@radio.com.cn申请，来信主题请注明“模块申请”或“功放板申请”，并在邮件正文中注明姓名、邮编、地址和电话。申请截止日期为2010年10月30日。



采用TDA1540芯片制作音频解码器

◎卡斯拿斯

作为王者TDA1541的大哥——TDA1540 鲜有人知，当年就因为采样深度只有14bit，外围元件繁杂，生产成本高，所以很快被同门的TDA1541所替代。到了近年，很多高水平的烧友使用老款D/A转换芯片制作解码器，但是依然很少有人插手TDA1540。

使用TDA1540的CD机

在CD标准出来之前，飞利浦公司认为采样深度并不如采样速率重要，而索尼公司则更注重CD碟片的生产成本和CD碟片的流通商业运作，最后飞利浦公司和索尼公司达成一致意见，即16bit 44.1kHz 。但是自家的14bit DA的TDA1540和CDM0方案已经非常成熟，所以飞利浦公司最终还是把它应用到了早期的CD机上，并获得了大众的认可。从1982年的CD-100到1986年初的CD-151，飞利浦公司在这4年里销售了数以万计的采用TDA1540芯片的CD机，相同的芯片组也在同期的其他品牌产品里发光、发热，直到1986年王者TDA1541的出现（图1）。

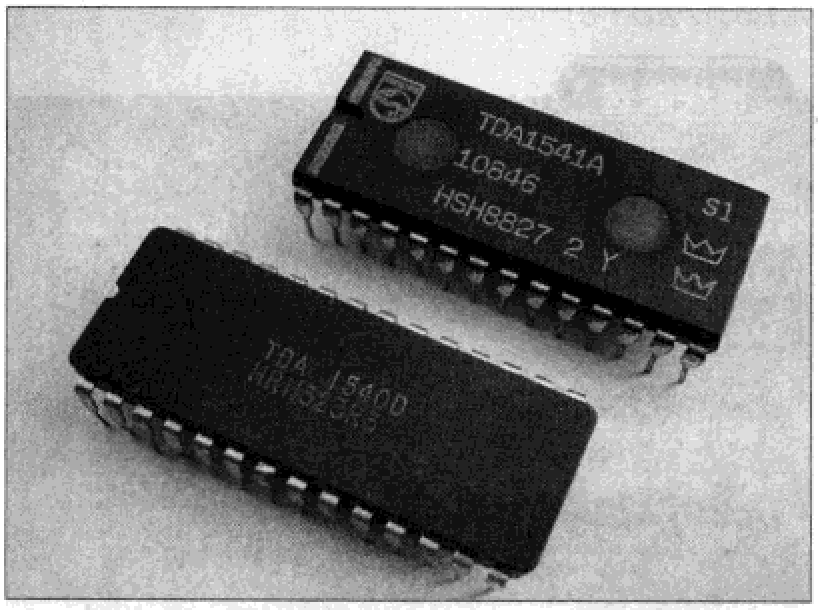


图1 1540和1541

在初期的CD机里，与之搭配的芯片是SAA7010、SAA7020、SAA7030，这一组合是针对CDM-0 ~ CDM-2等早期激光头设计的，所以比较新的产品（比如CDM4、CDM9）就不使用这个组合，同时也导致了无法搭配TDA1540。总之，它为TDA1541铺好了道路，也是普及CD的幕后推手。

电路的设计和详解

比起TDA1540，它所搭配的数字信号处理芯片SAA7030更不出名，而且也不能像SAA7220那样单独使用，导致了许多音响DIYer不愿意去制作采用TDA1540的解码器。不过在技术飞快进步的今天，因为有了更好的数字信号处理芯片，以及几乎万能的复杂可编程逻辑器件CPLD（如EPM7064图2），所以音响DIYer不需要再为买不到芯片或无法驱动SAA7030而发愁了。

确定了D/A芯片，接下来需要依次确定其他芯片和配件。首先是DF 数字滤波器，市面上容易买到。性能高、兼容性强、声音好而且价格极为便宜的DF芯片莫过于NPC公司的SM5813了，它兼容PMD100、DF1700这两款高性能芯片，而且共计199段的三阶FIR数字滤波器可以让输出信号远离量

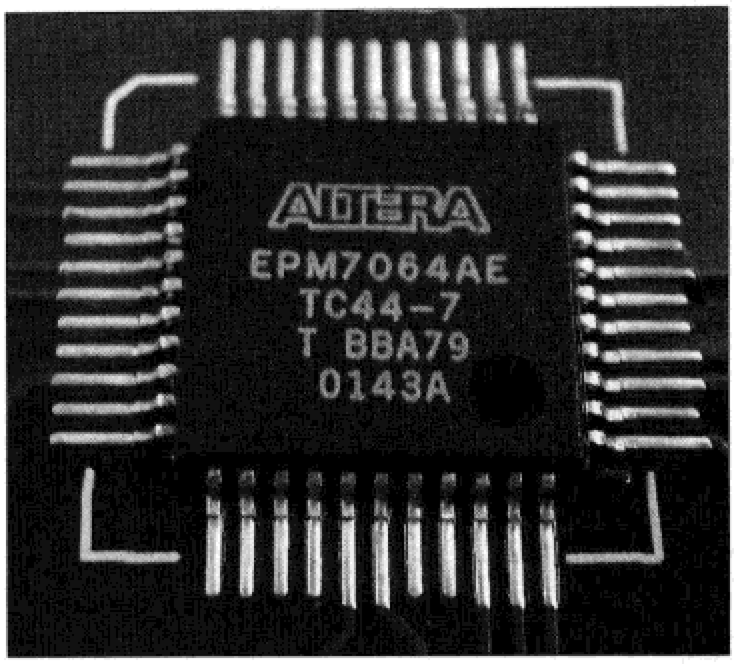


图2 EPM7064

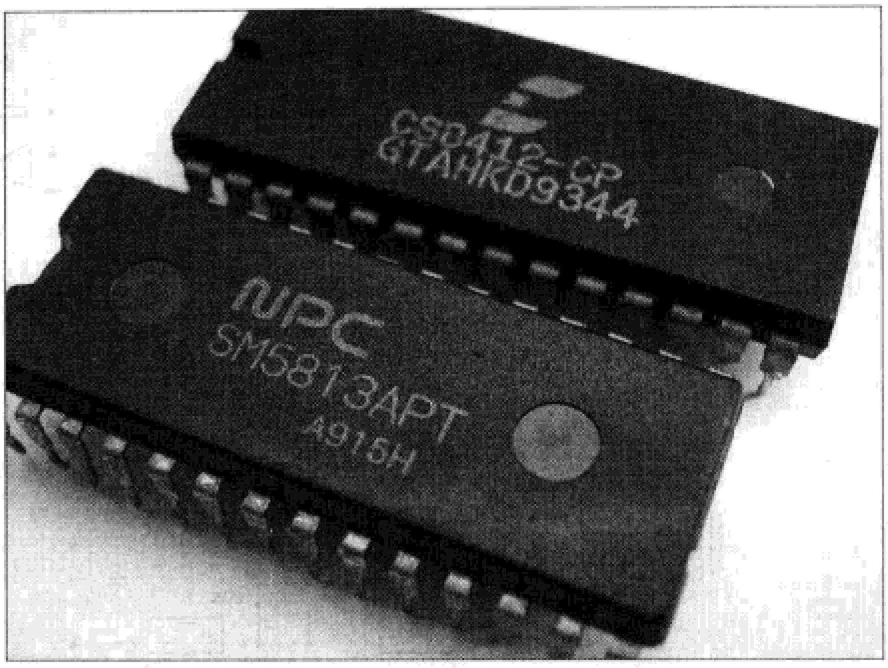


图3 CS8412和SM5813

化噪声，并且8倍过采样处理让ALPF模拟低通滤波器设计更加简单。与之搭配的DIR 数字信号接收器，可以选择同一时期的思瑞（水晶）公司的CS8412（图3）。高性能的CS8414和DIR9001在这里有点大材小用的感觉，杀鸡焉用牛刀。

SM5813并不能直接驱动TDA1540，还需要CPLD做桥梁，这里CPLD是起关键作用的。首先将SM5813的位时钟BCK转换到合适TDA1540使用的位时钟CP。其次需要生成TDA1540特有的使能信号，这个信号其实和TDA1541的并发（Simultaneous）模式一样的，只是前者是发生在14bit而后者发生在16bit，也就是说，稍微改变一下，前面的数字电路也可以让TDA1541工作在8倍过采样滤波器上。CPLD可以选择Altera的MAX®系列 或者Xilinx CoolRunner，实际效果是一样的（图4）。

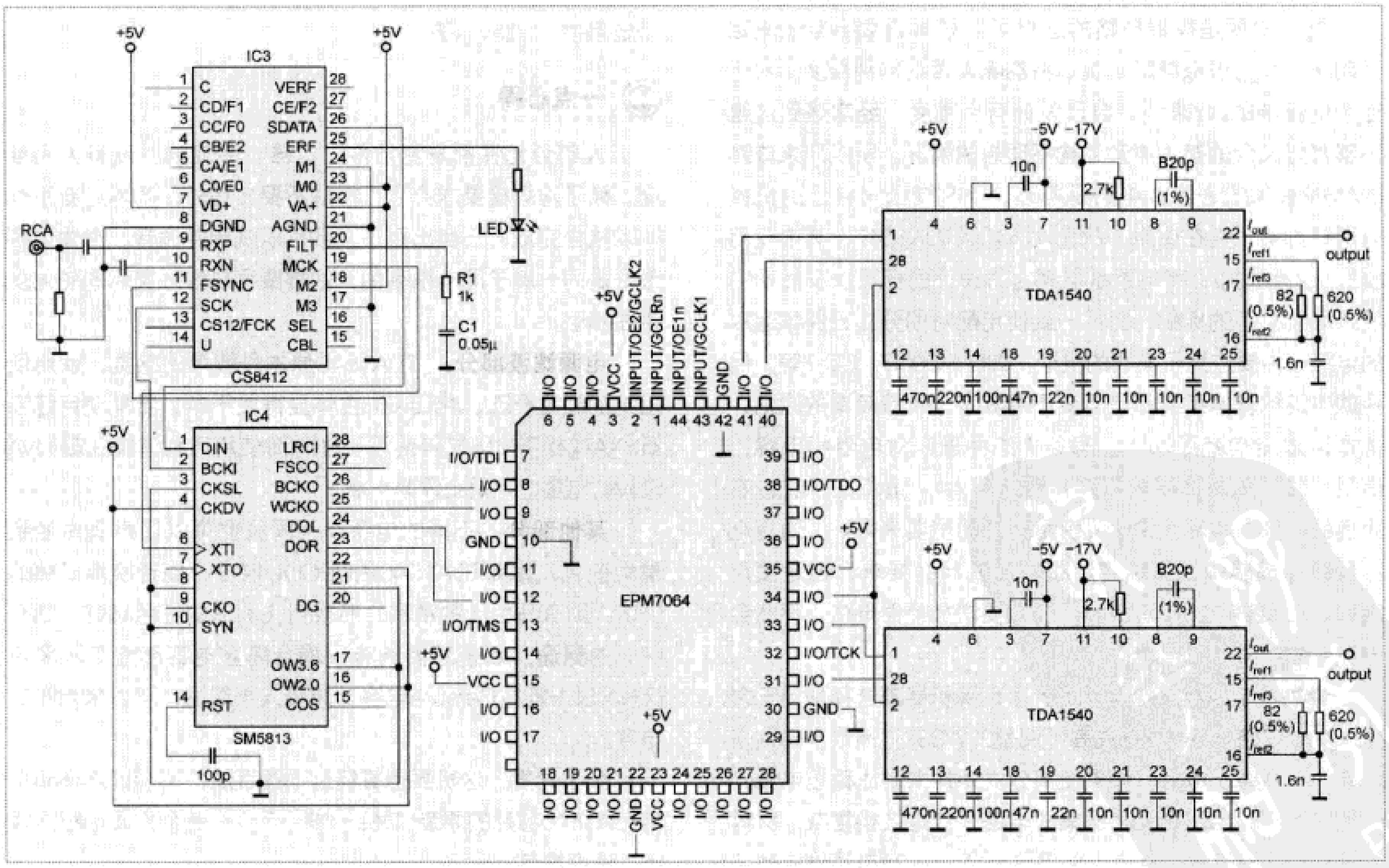


图4 数字部分电路带DAC

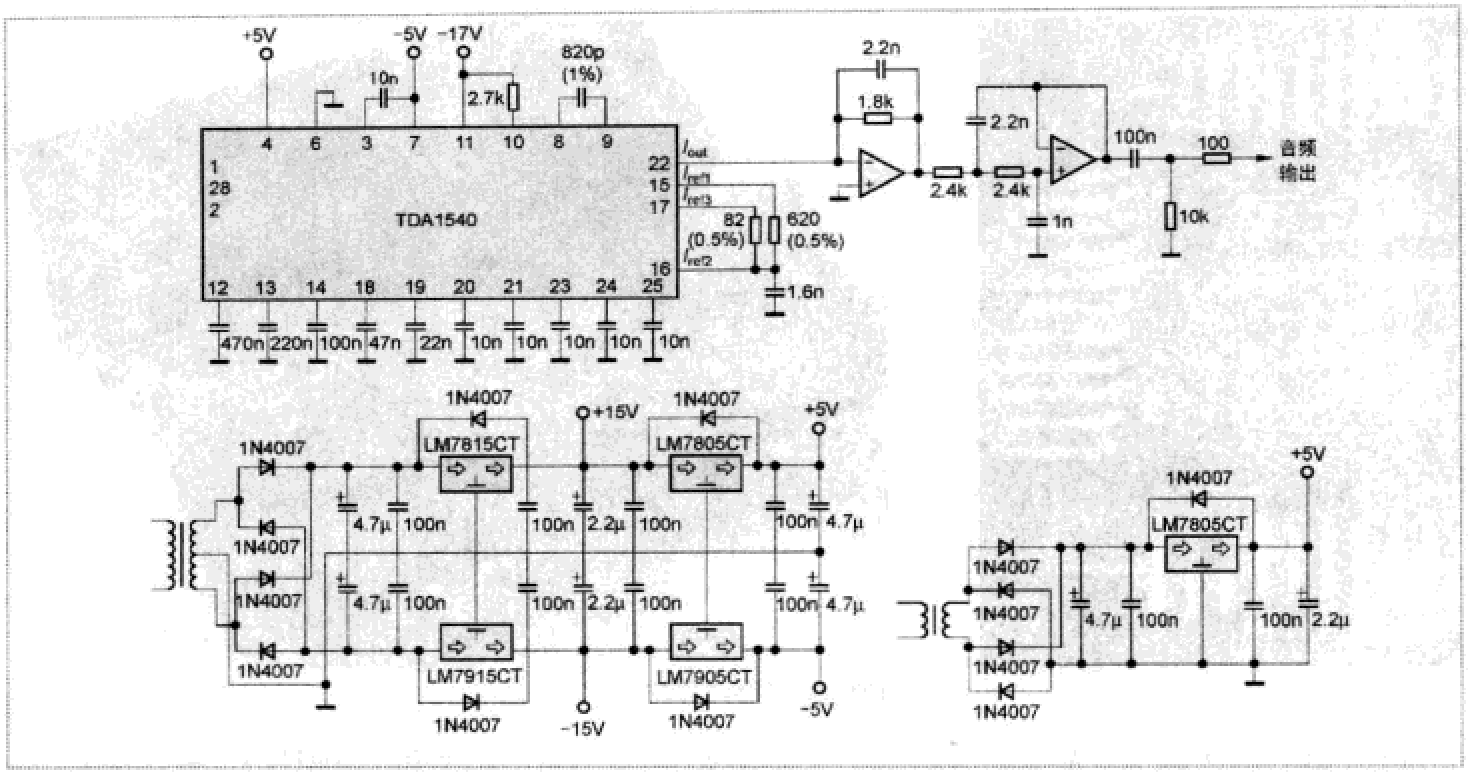


图5 模拟部分带电源

事实上，换用不同的DIR和DF会有不同的效果，部分的高烧焊师自己设计了脚位兼容CS8412的DIR电路板，只要将其设置在16bit右对齐模式下就可以替代了。DF也没有什么要求，把MCLK设置为256FS，输出格式为8X 并发模式就可以了，不过要注意有些DF的并发和SM5813的不同，这里可以在CPLD里修正，但是直接替换就不行。

剩下的便是模拟电路的选材了，如果说数字电路决定了韵味，那么模拟电路则决定将韵味发挥到何种程度。对于业余玩音响的DIY来说，自己设计有点难度，经常遇到这里不够那里又余的整体声音结构不理想的情况，所以厂家成熟的ALPF模拟低通滤波电路是首选。飞利浦公司自己的机器有两种方案一直在使用，从TDA1540到TDA1547，其中使用NE5532运放的ALPF电路是早期官方设计的标准以及后期中低端廉价机型的标配，而另一款使用配对的分立元件作运放的电路，主要应用于高端的机型，如LHH500R，CD-7等。但两款电路的基本架构都是万变不离其宗。本着简单的原则，选择运放结构就可以了。有条件的尽量配对电阻和电容，而阻（容）值单体要求不高，5%也可以，重点在于左、右声道的一致，实际效果比没有配对的明显要来得好。通用电压反馈运放基本上可以用，这里没有什么要求，但是使用OPA637，OPA228等运放时，注意要增加补偿电路，不然会出现自激现象。

最后是电源电路，实际上大多品牌机器都选择使用三端稳压集成电路78XX/79XX或者可调型317/337，而最早的则是简单的串联稳压电路。如果使用分立元件来制作稳压电源，一是性能不一定比得上稳压集成电路，二是结构复杂，材料数量多，不够简便。整个电路需要一路+5V 2A电源供应数字电路，两路±5V供应TDA1540，以及两路±15V供应模拟电路的运放，但±5V、±15V也不需要做精确调节，所以选择安森美/仙童（飞兆）/意法的7805、7905、7815、7915即可。和可以调节输出电压的317、337相比，基本没有差异。至于给TDA1540的负电压有点低（默认 -17V），这个其实不用担心，诸如乐华士、马兰士、飞利浦等机器采用的负电压都是用-12～-15V（图5）。

一点心得

大部分元件都是直插件，机器一装就响，没有太大难度。除了对焊接要求高点，接线不要出错外，基本是新手也可以独立完成。一旦出声了，就可以试听并调音。整体电容最好是同一牌子同一系列的，这样最容易区分实际的变化发生在哪里。

电源滤波部分： TDA1540原本是敦厚的感觉，使用低阻抗的红宝石ZL、化工KZH主体显得更干净。若是使用红宝石YXA或松下M则显得活泼一些，而使用飞利浦038或ELNA SILMIC电容，则是更浑厚一点。

其他部分：不同的电容在不同位置可以让声音由轻到重地变化，比如TDA1540的DECOU电容，倘若换用日精的MTF，则有马兰士的精利，而换用飞利浦的红色MKT，则有LHH的飘逸。若是想要韵味，耦合隔直电容部分可以采用ELNA SILMIC或Carefine电容，想要人声靓丽，可以采用ROE电容。

到了这里，这机器也算经过千锤百炼，不能说声音和采用TDA1540芯片的原装CD机一样，至少在各个方面都极具特色，值得推荐。

玩转老功放之中级篇

◎梓门

中级篇主要说的是晶体管的简单更换，是针对入门者而言的，对于入门后的爱好者，仍然是不值一提的入门内容。所谓简单，就是无需掌握太多理论知识，根据晶体管上的印字，“按图索骥”，直接更换晶体管的方法。

与入门篇中的换电容不同，晶体管属于半导体器件，寿命比较长，因此只要没损坏，并不需要更换，用过50年的老功放，也是如此，只有晶体管损坏了，才需要更换。本文所讲的晶体管指的是三极管。

晶体管更换大致有以下三种情况：同型更换、近型更换、异型更换。请注意这里的“型”不仅仅是指型号，而是指从晶体管实物上的印字可以获取的有用信息，包括型号、制造商、β（或者写为h_{FE}，共发射极电流放大倍数）的分挡（不是所有的管子都有）、生成批号（生产日期乃至生产班次、产地等）、封装。

同型更换指的是同型号管子之间的更换（除了生产批次以外，其余均相同）。对于老功放而言，因为生产时间久远，所用管子基本上已经停产，难以买到，因此，同型更换不太容易实现。功放上市或者制造的年代越晚，同型更换越容易实现。功放的存世量越大，同型更换越容易实现，因为存世量越大的机型，二手器件流通的可能性越大。

近型更换则是指型号虽然不同，但选用基本的技术指标相同或相近的管子进行更换，这就是业内常说的代换。可以近型代换的晶体管，一般封装、引脚排列是相同的，β的分挡范围是相同的（分挡标识不一定相同），技术规格可能有所不同。如果不同，原则上应该比原来的高，但还是以相同为佳。

要确定两个不同型号的晶体管是否可以互换，需要比对两者的技术参数，同时进行大量的实际代换实验，这种方法显然不适合入门者（知识和经验不够）和业余爱好者（条件不够，没有大量的实物）。不过，老的晶体管，可以查阅到公开的代换资料，我们只需要“按图索骥”就行了。

无论是“同型”更换，还是“近型”更换，如果功放电路的设计合理，更换晶体管后，如果电路没有其他故障，电路可以不作调整，其电路的基本性能一般也不会有明显的变化。本篇仅仅涉及同型更换和近型更换，异型更换将在本文的下篇中做简单介绍。

功放换管的理论准备：大致了解晶体管的类型

仍然以笔者手中的TA-1150D来说明晶体管的类型。

这台SONY的TA-1150D的序列号是207793，型号中的D表示它是最初上市的改进型号，序列号表示销售区域，具体到207793，应该是指针对日本国内销售的机型，针对美国销售的序列号是804001及其以上，针对加拿大销售的序列号是701001～804001（含704001），其他地区的不详。

图 1 所示的是从 TA-1150D 中检测出来的坏管，都是一个声道的，除了大功率晶体管，还有一个小功率的晶体管。

1. 型号

晶体管上的印字是我们辨别其型号的主要依据。功放管上的印字往往不是它的型号全部，而是简写，有业内共同认可的工业标准，也有制造商自定的一些命名方法，需要根据制造商提供的技术文档来确定。前者比较容易确定，后者在互联网没有普及的时代，比较难以确定，曾经是很多爱好者引以为豪的资本，也有很多详细的手册供爱好者查阅。

图1所示的晶体管从左至右分别是：A678、A706、C1124、C1060、A670、A670、C1060，详细的型号对应分别是2SA678、2SA706、2SC1124、2SC1060、2SA670、2SA670、2SC1060。我们从晶体管外形表面的印字信息上不难发现，上述型号的详细信息中均包含“2S”。因为晶体管上可供印字的地方并不富

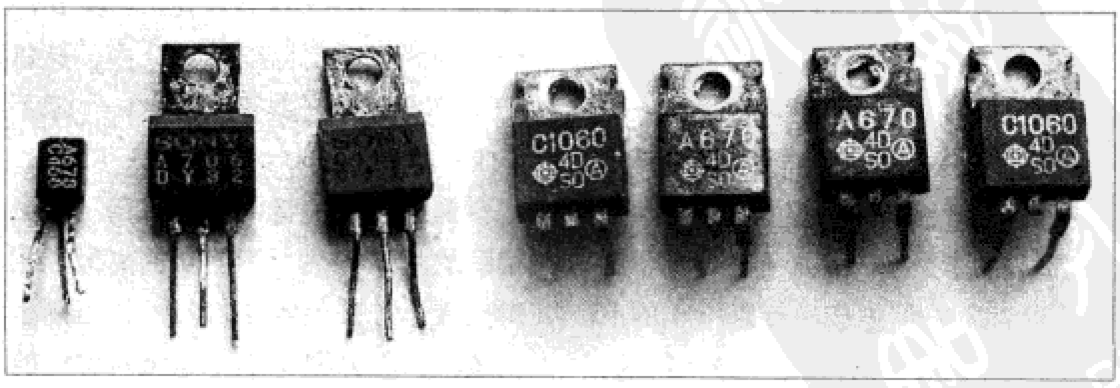


图1 TA-1150D上坏掉的功放管实物（同一比例）

裕，因此被省略了。现在常见的小功率贴片型晶体管，可供印字的地方更小，往往用2～3个字符来表示包括型号在内的信息，而且大多不是详细型号中的一部分，而是与具体型号毫不相关的，即使是在互联网普及的今天，有时查阅起来也非常困难。尤其是一些制造商，往往没有公开的技术文档，查阅起来更加困难。看来，爱好者了解晶体管型号的事情，可谓是“又添新愁”。

以“2S”开头的型号命名方法是日本的工业标准，其中的“2”表示三极管，“S”是分类号，接下来的字母表示三极管的类型，具体如下：高频PNP型，型号以“2SA”开头，印字常简写为“A”；低频PNP型，型号以“2SB”开头，印字常简写为“B”；高频NPN型，型号以“2SC”开头，印字常简写为“C”；低频NPN型，型号以“2SD”开头，印字常简写为“D”；N沟道场效应管，型号以“2SK”开头，印字常简写为“K”；P沟道场效应管，型号以“2SJ”开头，印字常简写为“J”，接下来的数字也是分类号。如果数字后还有字母，则是同型改进型号，一般是技术规格有所提高。

2. 制造商

不是所有的晶体管印字都包括制造商的信息，尤其是一些小厂生产的兼容产品，常常没有制造商的信息。而正规大厂的产品，没有制造商信息的产品，大多是一些独家生产的专利产品，并且产量很大，在业内具有唯一性，比较容易查到其相关信息，型号本身就包含了制造商的信息。但是具体到实际产品，爱好者并不能很容易地识别一款产品是否是独家生产的产品，而不同制造商的产品，即使是型号以及其他信息也相同，产品的技术参数还是有差异的，这会给业余条件下的代换带来不小的麻烦，而且也没有什么非常有效的办法。如果可能，购买有制造商信息的产品比较保险。即使如此，还要注意赝品，当“山寨”成为时尚时，对爱好者而言，又增加了一个与技术无关的考验。

晶体管上的制造商信息，有些是制造商的名称，如图1中的A706、C1124，印字第一排，表示它们是SONY公司的产品，有些则是公司的徽标（logo），如图1中的C1060、A670上的印字，第二排印字，左起第一个符号就是HITACHI（日立）公司的徽标，表示这个产品是HITACHI的产品。

A678上的印字没有制造商的信息，它是SONY独家生产的晶体管，但是并没有权威的第三方的机构来佐证这件事情，只是多方公开的资料显示它是SONY的产品。

3. 电流放大倍数β的分挡

不是所有晶体管上的印字都有β的分挡信息，但是它比制造商信息出现几率还要高一些。β通常和生产批号位于印字的同一排，位置通常是在生产批号的前面，紧邻生产批号，但是也有例外。

β（共发射极电流放大倍数）表示双极性晶体管的基本放大能力，β有很大的离散性，几乎没有两只管子是完全相同的，而且和具体的工作条件有直接的关系，因此这个参数只能是在一个大致的特定范围内相同，这个特定范围就是β的分挡。换言之，β相同指的是某一个数值范围相同而不是具体数值相同。

β的分挡一般用字母或者数字表示，同一型号的晶体管，如果β的分挡相同，通常可以直接代换，这是“同型代换”的重要依据之一，但不是唯一的依据。

通常所说的音响对管采用了尽量相同的生产工艺，不但β的离散性相对比较小，其他的技术特性的差别也比较小。但外围电路对电路对称性的作用也很大。在实际的电路中用足够多的晶体管进行配对，除了成本很高以外，在实践上意义并不很大，只有天价的机型才有可能会这么做（谁能保证不是商业宣传的需要呢）。与其花费大量的人力物力对晶体管进行生产工艺之外的配对，还不如对电路进行精细一些的设计，多用几个电阻、电容乃至几个晶体管显得更为划算，效果也更为明显。

不同型号的晶体管，分挡字符通常是不同的，因此，要了解放大能力分挡的具体情况，需要查阅技术文档，对于“同型代换”来说，只要知道哪些字符是表示放大能力分挡的，并让它们相同即可，一般并不需要知道其具体范围。如果是近型、异型代换，则需要确定这些问题，具体方法：一是查阅技术文档，二是向有经验的爱好者请教；三是向销售商请教（最好向不同的几个经销商请教以免遇到唯利是图的商人）。

具体到图1，A678左侧第一竖排的第一个字符C、A706和C1124的横排第三排左起第一个字符D和C、C1060和A670上的带圈字符表示是β的分挡。例如：对于C1060和A670，β分四挡，ⒶⒷⒸⒹ分别表示β的范围是35～70、60～120、100～200、160～320。

功放的功率放大级，除了双极性晶体管，还会用到功率场效应管，行内也称为场管、VMOS管、DMOS管的，它的基本放大能力用跨导（g_{fs}，共源极放大能力）来表示，不过跨导是有单位（S，西门子）的。因此，如果是功率场效应管，β的分挡就会被g_{fs}的分挡代替，除了技术内涵不同，对它们的要求是一样的。

4. 生产批号

不是所有晶体管上的印字都有生产批号信息，但它也比制造商的信息出现的几率高，几乎和β分挡出现的几率一样。对于制造商而言，生产批

号是控制产品质量和品质的重要手段之一，对于用户而言，同一批次的产品，技术参数的差别通常会比较小，产品质量的差别也会比较小。

图1所示中的晶体管均包含了生产批号信息，A678为d68、A706为Y32、C1124为f13 、C1060和A670为4DSO（上、下两排）。

5. 封装

封装（packge）指晶体管的外形、外壳材料、引脚间距、引脚形状与排列、本体散热片（TAB，一般功率晶体管才有）等与安装有关的信息。

晶体管的印字中一般并不包括封装的信息，但是对于代换来说，封装不同会给安装带来或大或小的麻烦。

老功放常见的功率晶体管封装如图2所示。就业余条件下的安装而言，如果引脚的定义相同，主要需要关注是引脚间距，那么功率晶体管的封装就可以大致简化为三类，第一类是以TO-220为代表，引脚间距的典型值是2.5mm，第二类是以TO-3P为代表，引脚间距的典型值是5.5mm，上述两者均为塑料封装，第三类是以TO-3为代表，只有两个引脚，第三个引脚就是金属外壳。

功放换管的实践准备：晶体管好坏的简单检测

晶体管的损坏大致有三种情况，一是短路，二是开路，三是性能不良。无论哪种情况，用万用表的欧姆挡都可以作简单的判别。功率晶体管的故障以短路居多，小功率晶体管则是短路和开路故障大致各占一半。

检测晶体管大致有两种方法：在线检测和离线检测。所谓在线检测，就是在晶体管的安装位置直接检测，不断开它与外围电路的连接，也不用从安装位置卸下来；所谓离线检测，就是将晶体管从电路中脱离开来，单独进行检测。

在线检测虽然简单，却能够判别多数故障，因此，一般是先在线检测，然后进行离线检测，进行故障确认。判断开路故障一般需要进行离线检测，判断晶体管是双极性晶体管还是场效应管，如果从型号不能确认，因为偏置电路（外围电路）的存在，一般也需要离线检测。

检测判别双极性晶体管的好坏，指针式万用表和数字式万用表均可，对万用表的精度也没有什么特别的要求，最普通的品种即可。但是简单判别功率场效应管的好坏则需要用指针式万用表，多数数字式万用表难以胜任，这是笔者在《玩转老功放》中推荐优先准备指针式万用表的原因。本文检测也均以指针式万用表为例，万用表的型号是常见的MF-47型。

1. 晶体管的短路损坏检测

功率晶体管的短路损坏是最常见的，如果保险管（丝）烧断了，多半存在这样的故障，确认方法也很简单，换上同规格或者近似规格的保险管（丝），在市电规格正确的情况下，不接负载(音箱)，如果又烧断了，就说明功率晶体管存在短路故障。

断开功放与负载的连接，在印制板的背面（铜箔面），即基本没有元件的一面，找到要检测的晶体管的三个脚。如果是直接固定到散热器上、通过连线与印制板相连的晶体管（TO-3封装的常用这种方式），就在散热器上找。

将指针式万用表的欧姆挡置于×1挡，用两只表笔分别检测待测晶体管三个电极中的任意两个，然后黑、红表笔对调，接着再换另外两个，直到三个电极两两都用黑、红表笔测量一遍，最多需要测量6次。

如果在测量过程中出现测量结果小于5Ω的情况，一般来说，这只管子就可能已经短路损坏了，需要从印制板或者散热器上拆下来复测，以便进一步确认。如果拆下来测量的结果照旧，即有两只引脚之间的电阻值小于5Ω，就可以确认这只管子损坏了。无论是双极性晶体管还是场效应管，上述方法均适用。

2. 为晶体管的离线检测做准备

晶体管离线检测需要将其拆下来或者断开它与电路的连接，比较费时、费力。电路有可能存在其他并发故障，因此一般在进行离线检测之

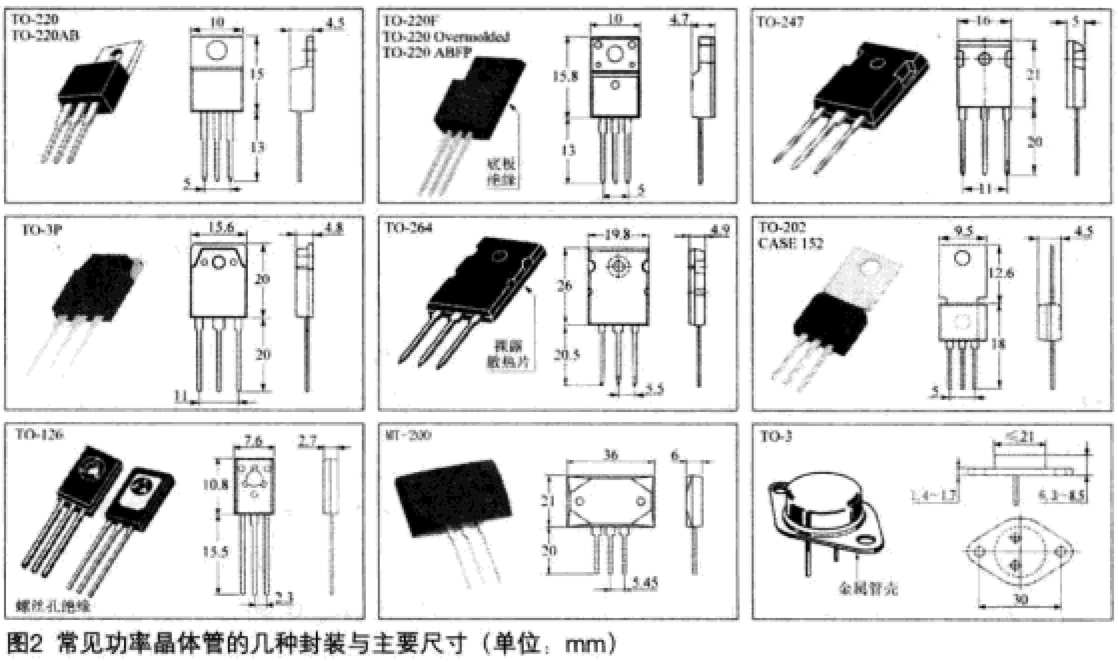


图2 常见功率晶体管的几种封装与主要尺寸（单位：mm）

前，先要简单确认一下是否存在简单故障，如有线路接触不良或者连接不好、外围元件烧坏等，其检测过程大致如下：

（1）凭肉眼观察功放板上的元器件是否有异状，是否有烧黑烧焦的（常见的是电阻），电容是否有鼓包、开裂的，晶体管是否有开裂的等。

（2）查看功放的输出端是否有保护装置。常见的是继电器，它的外形特征很明显，在功放板上比较容易辨识，如图3所示。如果不熟悉，上网查一下，也不难熟悉它。当然功放板上的继电器有时候也可能不是输出端的保护装置，因此经验不足时，可以顺着线捋一下，继电器的动触点是不是与功放的输出端相连，即与音箱连接的端子相连，静触点是不是与功放输出级的晶体管的某一个管脚相连或者通过一个很小阻值的功率电阻与之相连。找到并确认继电器后，上电，注意是不是能听到继电器吸合的声音。如果能听到，用镊子或者螺丝刀的金属前端碰触同一组触点的静触点和与功放那个输出端连接的动触点，看音箱中是否有声音。如果有了，说明继电器的触点坏了，需要更换。如果没有，大致可以说明功放电路有故障。如果没有继电器的吸合声音，用万用表的直流电压挡（50V挡或者相近的挡位）测量继电器的静触点（红表笔）与地（黑表笔）之间电压。如果有偏转但是不大，保持表笔不动，逐渐减小挡位。如果测量的结果小于1V，一般是说明继电器本身或者控制电路有故障了，可以临时将同一组触点的静触点与动触点短接。如果故障消除了，一般更换继电器即可。如果依旧，说明继电器的驱动电路有故障，查找故障或者不用输出保护（分别短接继电器同一组触点的静触点与动触点）。功放输出端的保护装置也不仅限于继电器，如这台TA-1150D采用的是不太常见的氖管。这种氖管的内部触点为常闭状态，其中采用双金属片支撑的为动触点，两个触点之间还接有电阻丝。当输出电流过大（负载短路或者功放有直流输出时），双金属片发热，因为构成的双金属片的两种金属的热膨胀系数不一样而发生弯曲，动触点与另一个触点脱开，功放输出与负载之间相当于串接了一个电阻，限制了输出电流的大小。其动作原理与老式日光灯中的启辉器非常相似，如图3所示。

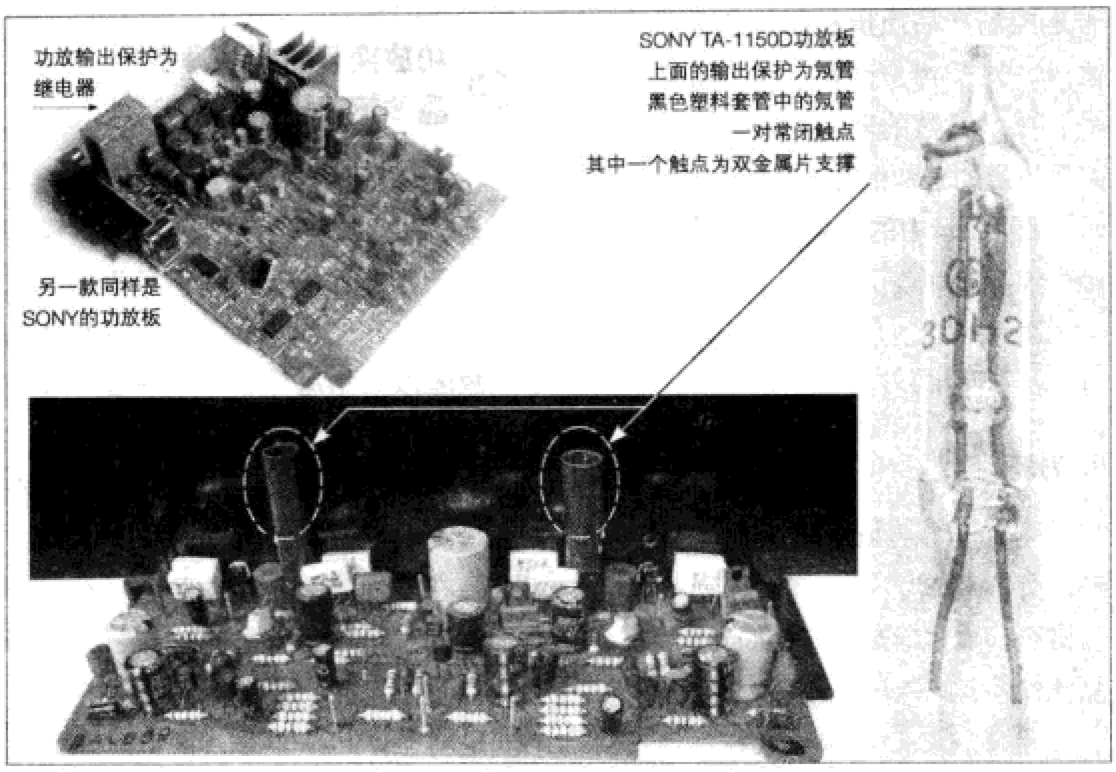


图3 功放的输出保护装置：继电器与氖管

（3）如果输出保护装置没有故障或者没有输出保护装置，用“干扰法”大致判断故障是出在功放级还是前级。找到并确认功放后级部分的信号输入端，通常是与前级通过屏蔽线连接部位，或者是与背板的线路输入端连接的屏蔽线。在外壳打开的情况下（注意安全），将功放与音箱连接好，用（试）电笔的金属前端碰触已经确认的信号输入端。如果故障依旧，说明功放的确存在故障。电笔的用法和测试市电火线的方法相同，手要触摸电笔另一端的金属部分。如果有了一定的经验（能够确认信号输入端没有可能让人触电的高压）并且确认了信号输入端，可以直接用手去触摸。

（4）如果故障不能确认，用“震动法”来粗略判断一下是否存在接触不良的故障。将功放与音箱连接好，在上电条件下适当用力拍功放的外壳，音箱中是否有断续的声音，哪怕是尖锐的噪声。

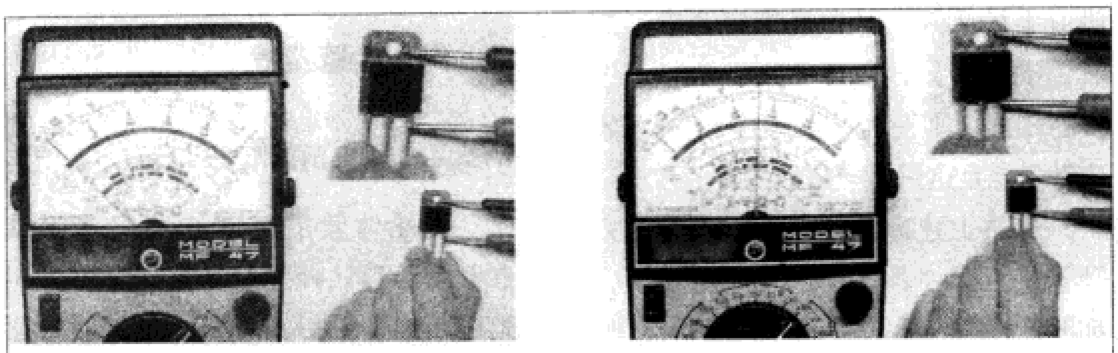
（5）如果没有，打开功放外壳，将所有的连线轻轻扯一遍。然后，在外壳打开的情况下，将功放与音箱连接好，上电，看故障是否依旧。

（6）如果依旧，将所有带连接插头的连线拔下来再插上去。然后，在外壳打开的情况下，将功放与音箱连接好，上电，看故障是否依旧。

（7）如果依旧，用电烙铁将功放板上所有的焊点仔细焊一遍。如果能分清左、右声道，只复焊一个声道即可。复焊一遍后，上电试机，看故障是否依旧。

（8）如果依旧，呵呵，很不幸，你遇到的故障可能并不是简单故障。

接下来将晶体管逐个拆下来用万用表检测一下，顺序是先大功率管后小功率管。如果能查到坏管，换管后如果故障能够消除，那是万幸。如果不能，放弃维修也许是更明智的选择。理由是：如果换管不能解决问题，说明这台老功



手指同时摸一下栅极与源极，指针的指示接近无穷大

手指同时摸一下栅极与漏极，指针的指示约为150kΩ

图4 判别场效应管及其好坏（注意场效应管和手下面应该放置绝缘物品，如木板等）

放的故障并不简单，而老功放一般分立元件用得比较多，电路也显得比较复杂，故障处理起来比较费时费力，有时候会走很多弯路而不得要领，除非是为了培养和锻炼自己的维修本领，其他故障大多并不值得去耗费更多的时间去钻研。另外，从经济性考虑，老功放本身大都比较廉价，花太多的时间修理也并不划算。如果是为了研究老功放的设计思路，从电路原理下手显然更为便捷，本文的高级篇将讨论这个问题。

3. 晶体管的简单离线检测

离线检测晶体管的目的是在判别晶体管的好坏的同时能够判别它的电极。判断双极性晶体管与场效应管的方法不太一样，先看双极性晶体管。

（1）双极性晶体管的离线检测

双极性晶体管的离线检测要用指针式万用表的 ×1k 挡，方法与在线检测一样，检测两只引脚之间的电阻值，并且要红、黑表笔对调复测一次。

如果有一只引脚和另外两只引脚之间的电阻值均为10kΩ左右（并不一定相等），说明这只管子是双极性晶体管，我们暂时称这只引脚为A。黑、红表笔对调后，复测，管脚A与另外两只引脚的电阻值接近无穷大，就基本可以说明这只管子是好的。如果有任意一个现象与上述不符，则说明这只管子可能有问题。还有一种情况可能是，这只管子是达林顿管，最好根据型号查阅其技术文档确认。达林顿管的检测需要用×10k挡，方法与上述检测方法大同小异。因为在老功放中，功率达林顿管很少见，公开的资料也很容易查阅到，判别方法在此不再赘述。如果接A的表笔为黑表笔，那么这只管子是NPN型的，如果接A的表笔是红表笔，那么这只管子就是PNP型的。

双极性晶体管的三个电极分别为基极（b或B）、发射极（e或E）、集电极（c或C），上文中的电极A就是基极，其余两个电极，其中必有一个电极与散热片相连，即两者之间的电阻为0Ω，那么这个电极就是集电极，剩下的一个就是发射极。

如果是绝缘封装的功率管，本体散热片没有外露，或者是小功率三极管，没有本体散热片，可以这样简单判别：先按照上述方法判别基极，确定基极后，将印字的一面朝向自己，引脚向下。如果基极位于最左侧，那么从左至右依次是基极、集电极、发射极。如果基极位于中间，那么从左至右依次为发射极、基极、集电极。这个方法虽然有例外，但是极少见。如果有疑问，查阅这个管子的技术手册是最为保险的方法。

公开的资料有另外一种方法是：辨明基极后，用万用表的1kΩ挡测量剩下两只脚的电阻值，并将红、黑表笔对调复测，对于NPN管，测量值小的一次，黑表笔接的是集电极，但是这个方法的例外很多，而且一般只是适用于NPN管，还是查阅技术文档更为保险和便捷。

接下来分析辨别基极的过程中出现的其他情况：如果无论怎么测量，三只管脚两两之间的电阻值都很大，那么这只管子可能开路坏了，也可能是场效应管。如果只有两只引脚之间电阻值为10kΩ 左右，红、黑表笔对调后，电阻值变为接近无穷大，那么基本上可以确定这是一只场效应管。如果有两只引脚之间的电阻值在数十千欧姆，或者远小于 10kΩ 但是大于 1kΩ，这时候需要将三只引脚用导线短接一下，再次复测，手不要同时碰管子的任何两只引脚或者一只引脚及管子的其他金属部分（如散热片）。如果电阻值变为无穷大，也可以基本确定这是一只场效应管。

场效应管的三只引脚名称为栅极（G）、漏极（D）、源极（S），功能分别与双极性晶体管的基极、集电极、发射极对应，导电类型分为P型（P沟道）和N型（N沟道），分别类似于双极性晶体管的PNP型与NPN型，而且也是P型的较为少见和昂贵且很少有耐高压型号。

上述测量方法适用于绝缘栅增强型的场效应管，大功率场效应管目前基本上都属于这种类型，极少有例外，并且引脚排列顺序都是一样的，即将待测管子印字面朝向自己，管脚朝下，从左至右分别是栅极、漏极、源极，其中漏极与散热片相连。如果上述测量疑是场效应管，需要进一步做测量。

（2）功率场效应晶体管的离线检测

虽然TA-1150D没有用场效应管，但是在其他的老功放中，可能会采用功率场效应管，掌握其简单的判别方法还是有备无患的。

将指针式万用表的欧姆挡置于×10kΩ挡，将待测管子印字面朝向自己，管脚朝下，将万用表的黑表笔接漏极（中间的引脚或者散热片），红表笔接源极（最右侧的引脚），腾出

一只手来，用手指同时摸一下栅极（最左侧的引脚）和源极，这时候不管万用表的指针原来的状态，此时的电阻值指示均应该是接近无穷大，并且手放开后，上述现象能够保持很长时间，接着用手同时摸一下栅极和漏极，此时的电阻指示范围为几十千欧姆至几百千欧姆，并且手放开后，上述现象能够保持很长时间，具体操作如图4所示。

反复进行几次，以免万一有误操作影响测量结果。如果现象均相同，可以肯定这是一只N型的场效应管，并且这只管子是好的。如果手放开后，上述的第二种现象很快消失，说明这只管子虽然还没有损坏，但是开关特性不良，不能用了。

如果没有上述现象，将红、黑表笔对调，即红表笔接漏极（中间的引脚或者散热片），黑表笔接源极（最右侧的引脚），复测如果现象和上面说的相同，则说明这是一只P型的场效应管，并且这只管子是好的。

如果上述现象均没有，不管这只管子是双极性晶体管还是场效应管，都不是好的，是坏管，不能用了。

上述判别方法只能用指针式万用表，并且需要用指针式万用表的10kΩ挡或者更高的挡位，数字式万用表大多不行，其他的测量项目则可以使用数字万用表。

掌握了如何判别晶体管的好坏和类型的简单方法，找出了坏管。根据坏管的类型，买到新管或者二手的好管，就可以“操刀”换管了。正如本文开篇所言，晶体管的寿命很长，只要不损坏，二手管与新管使用起来并无什么区别。

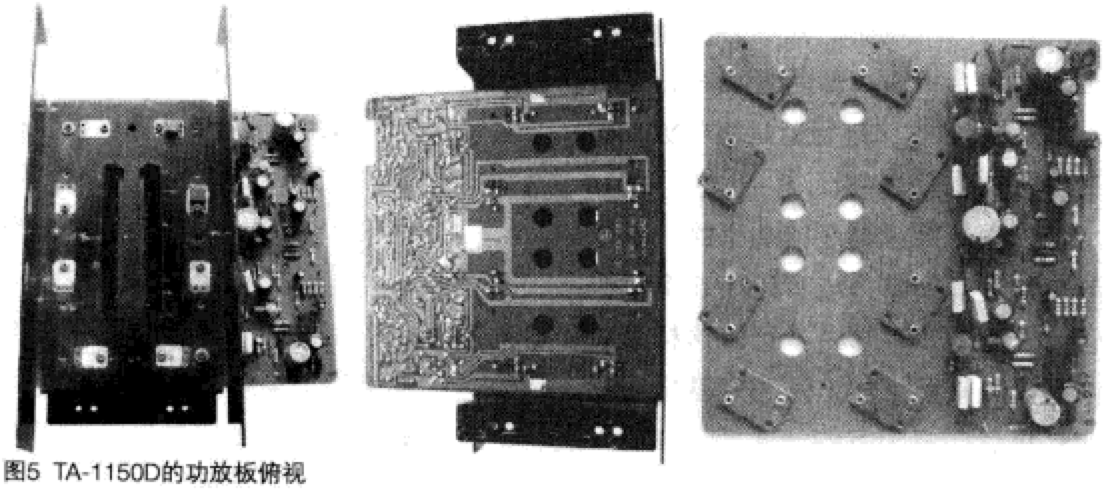


图5 TA-1150D的功放板俯视

图6 TA-1150D功放板上的插头连线

同型换管实战

1. 拆功放管之前的准备工作

换晶体管的第一步当然是确认或者大致确认哪些管子损坏了，如果能在线确认更好，直接拆下来换管即可。如果只是疑似而不能确认，就需要拆下来进行离线检测，无论怎样，都需要将晶体管拆下来。

在拆卸晶体管之前，仔细审视机内布局，尤其是功率晶体管的安装方式要搞清楚，同时要将计划拆卸的元件和连线位置都记在心里，最好是标记在纸上，这是非常重要的。因为安装错误造成的损失往往会令你“扼腕长叹”。

具体到TA-1150D，输出级的功率晶体管采用的是插座，松开固定螺丝后可以直接拔下来。不过这种插座在今天已经很不常见了，从印制板的背面（铜箔面）看，有时候或许会误认为是直接焊接的，参见图5。

图5中的左、中分别是带着散热器的元件面、铜箔面，右图是去掉散热器的元件面，图中可见8个功率晶体管的插座小板，小板上的晶体管插座以铆接方式固定，插座及小板与主印制板则以焊接方式连接。实际在换管的时候并不需要拆下黑色的散热器，这里是为了说明问题。

TA-1150D内部的连线大部分是焊接的，只有功放板的连线是插接方式。除了信号输入线的地线是共用的，其余插接线都是独立的插头。其中信号线一组共两根单芯屏蔽线，电源线和功放输出线都是单根的导线，捆扎为一组，所有的连线以颜色相区分，如图6所示，尽管如此，还是记在纸上稳妥。

2. 拆、换晶体管

做好上述准备，就可以准备开始

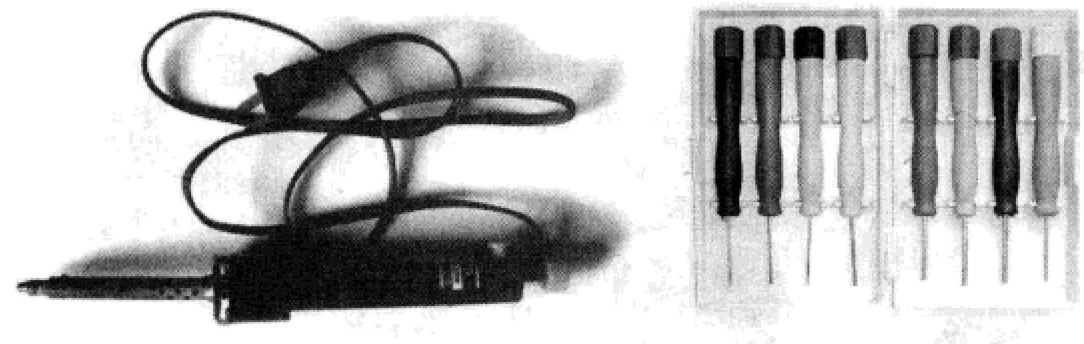


图7 自热型吸锡烙铁（左）和成套的不锈钢通针（右）（未按同一比例）

拆、换管了，当然，准备好要换的好管也是必要的。

如果是小功率晶体管，用烙铁头同时烫开三只引脚，拔下来即可。为了再次焊上去（检测后并不坏的管子或者换上去的好管），要用不粘锡的细针将印制板上的安装孔捅开，常用的是不锈钢通针，也可以用吸锡绳将焊盘部位的焊锡吸干净，将安装孔露出来。

比较方便的专用拆卸工具一是吸锡烙铁，二是成套的不锈钢通针（空心针）。吸锡烙铁在拆管的同时能将焊盘部位的锡吸除，吸锡烙铁有单吸型的，需要与电烙铁配合使用，也有自热型的，可以在烫开焊锡的同时将焊锡吸除，后者更为方便。不锈钢通针在电子市场有成套卖的，如图7所示。一般包括一支实心通针和直径不同的若干支空心通针，很便宜，也很好用，既可以用来拆卸多个引脚的晶体管，也可以用来拆卸引脚繁多的插脚型集成电路。在拆卸的时候也能保证焊盘孔不被焊锡堵住，但是不太容易上手，初次使用前需要找块废板先练习一下。

如果没有吸锡烙铁和空心针，用普通烙铁也可以进行拆卸，不过对于新手，最好先找一块废板练习一下。

对于TO-220及其类似外形的管子，可以在三个引脚之间都搪上锡，用35～50W的烙铁加热，锡融化后迅速将管子向外拔出即可。如果是TO-3P或TO-3封装的管子，可以先把任意两只相邻引脚之间搪上锡，然后同时用两把烙铁，一把焊一只引脚，另一把焊已经搪上锡的、相邻的两只引脚，这样就可以同时焊开三只引脚，这时候就需要一个助手从元件面向外拔出晶体管。如果是有实践经验的爱好者，用一把20～25W的烙铁，每次只焊开一个引脚，左右交替摇晃并向外拔，也能卸下来，但是如果经验不足，容易损坏引脚处的铜箔焊盘，生手慎用。

换管和入门篇中换电容时需要注意的问题是一样的，即最好不要一下子将所有疑似或者确认要换的管子全拆下来，然后一古脑儿将好管换上去，推荐的方法是拆一只，换一只，换的时候要仔细核对引脚位置以及印字面的朝向，而且，对要用的好管也要用万用表复测一下好坏。与更换电容不同的是，不能换一只就上电试机，而是需要等换上所有的管子之后，经核对无误再上电试机。

其次，换功率晶体管的时候，要注意晶体管自身的散热片（TAB）与散热器之间的绝缘。在拆、换管的过程中注意不要弄破了绝缘垫片（硅胶材质或者石英材质）。

再者就是绝缘垫片上的白色物质，这种材料就是硅脂。硅脂能填平散热器与晶体管散热片之间那些肉眼看不见的凹凸不平的表面，减少热阻，改善热传导的效率。老功放由于时间久远，这些硅脂早已经干涸了，因此在换管的时候，最好同时将老的硅脂清除干净，再均匀涂抹一层新的硅脂。当然不用也是可以的，主要会影响功放的最大功率输出能力和长时间大功率输出能力，对功放的其他技术性能没有什么明显影响。

近型换管

近型换管就是要找到与待换管相近的晶体管来代换，在互联网普及的今天，已经不是什么太难的事情了。

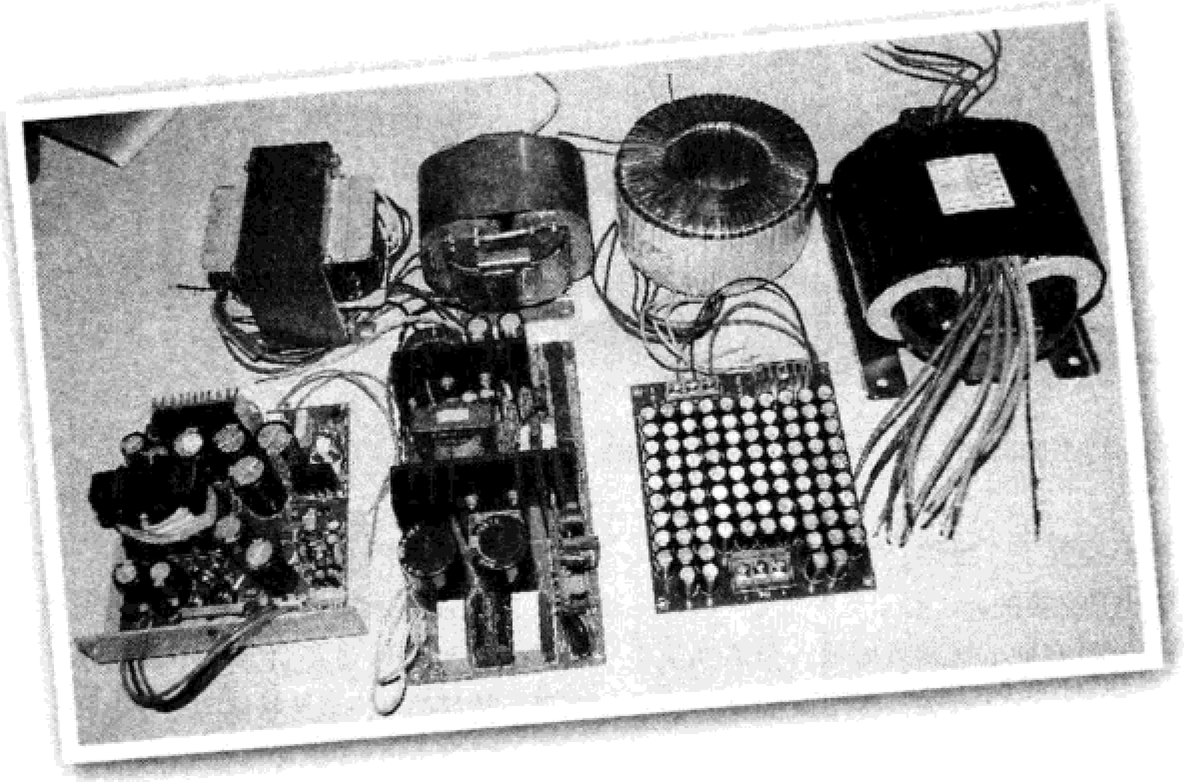
TA-1150D上所用的晶体管近型代换型号如附表所示。其中摩托罗拉的半导体部门就是现在的ON（安森美），ON与摩托罗拉的同型晶体管产品是可以直接代换的，而市场上又比较容易购买到ON的晶体管。

附表 TA-1150D上所用晶体管的近型代换表

型号	制造商	三洋 SANYO	东芝 TOSHIBA	日电 NEC	日立 HITAHI	松下 Panasonic	索尼 SONY	三菱 MITSUBISHI	罗姆 ROHM	摩托罗拉 MOTOROLA
2SA670	日立	2SB508	2SB596	2SA1069	2SB856	2SB941			2SB1033	TIP32B
2SC1060	日立	2SD314	2SD526	2SC2516	2SD1135	2SD1266A			2SD2023	TIP31B
2SA706	索尼	2SA1708	2SA1315	2SB984	2SB647	2SA777			2SB1041	BD416
2SC1124	索尼	2SC3902	2SC1265	2SC2690	2SD667	2SC2803			2SD1563A	BD415
2SA678	索尼	2SA984	2SA499	2SA953	2SB561	2SA720	2SA677	2SA1399	2SA933	
2SC945	日电	2SC4641	2SC1815		2SC2308	2SC1685		2SC2320	2SC1740	
2SA735	索尼						2SA678			
2SC1362	索尼	2SC4641	2SC1815	2SC1843	2SC1344	2SC3311A	2SC632A		2SC1740LN	

浅谈音响中的电源

◎牛歌



电源部分在音响系统的重要性

电源部分是整个音响系统的基石，为整个音响系统提供能量来源，电源供电的质量直接决定了整个系统的最终性能级别。在发烧友的实战中，电源的重要性已经被越来越多的人所认识，电源部分在整个系统中的地位和造价也在不断升高。

在音源和前级等小信号设备中，电源的纯净度是第一位的。由于信号较弱，电源的纹波和干扰就显得特别突出。通常都会采用各种各样的稳压电路，有些甚至干脆采用电池供电，以求最佳的音质表现。

在功放中，由于功放的大功率，大动态特性，通常采用简单的线性电源，即工频变压器加简单整流滤波电路后供电路使用。只有要求高的场合才对电压放大级以前进行稳压供电，个别电路会连推动级也稳压供电，但末级稳压供电的就极其罕见了。

近年来，开关电源越来越多地受到关注，其高效率、高性能、稳压保护全功能的特点日益受到青睐。与D类功放相互呼应，被称为未来功放的理想电源。

我们用的电器能量基本上都来自工频交流电，它标称是220V，频率为50Hz的正弦波。实际是三相交流电，但我们只使用了其中的一相电压。由于电网中各种用电器和形形色色的干扰，这个工频交流电本身并不纯净，它常常会包含着各种杂波，有时功率因数也不为1（在纯电阻负载上电压与电流有相位差），甚至可能还有一定的直流成分。如果用示波器来看它的波形的话，或许是一个扭曲变形的正弦波，有时用“惨不忍睹”来形容也不过分。

传统线性电源

1. 电压输出的误区

传统的线性电源是将正弦交流电经过整流、滤波、稳压后输出的。忽略整流损耗，滤波后的输出电压是交流电的峰值，即有效值的1.414倍，但这个电压是“虚值”，只是空载时的测量值，一旦带负载就会跌落。因为衡量电源输出能力的是电压的有效值（也就是通常所说的均方根值）。比如一台线性电源的音频功放，空载时电源电压为双40V，你不要以为它可以在8Ω负载上输出100W有效值功率，因为当输出功率增大时，电源的电压就会维持不住地下跌，从而使功放的最大输出电压随之下降。只有使用稳压电源，才可能达到100W。同理，在设计稳压电源时，也一定要考虑到满功率或电压波动时的影响，比如普通三端稳压器件，在输入、输出压差达到3V时就可以很好的工作，但要保证在满功率和电网电压波动时仍有3V的压差，则通常要使整流输出电压比稳压输出的电压高出10V，在这种条件下，稳压电路本身的损耗是相当大的，特别是小负载时整个电路的效率非常低。所以传统的稳压电路通常都用在小功率条件下，功率大的场合，开关稳压电源就成了更合理的选择。

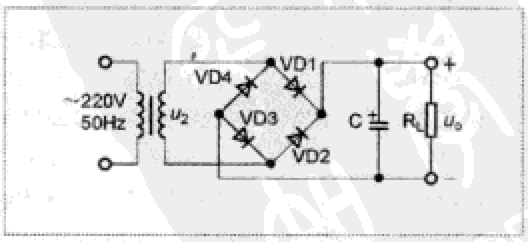


图1 桥式整流滤波电路

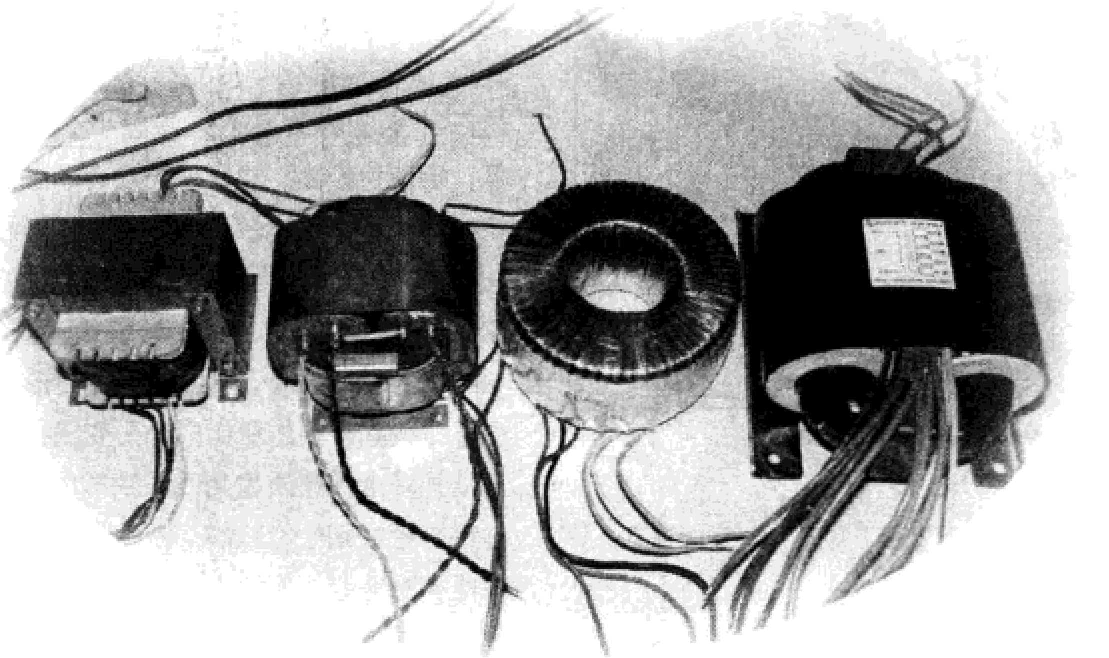


图2 几种常见的变压器

2. 牛、桥、水塘的关系

牛、桥、水塘就是大家熟知的线性电源中的变压器、整流桥和滤波电容。变压器提供合适的交流输出，整流桥将交流变换为直流，电容器储存电能并降低电源的波纹。图1所示的是桥式整流、滤波电路。

提一个问题：通常情况下，直接给电路提供能量的是谁呢？是电容。电路需要的能量在大部分时间里直接由电容的储能供给。变压器正常情况下的工作电流并不是连续的，由于电容的储能作用，只在一个很小的脉冲区间，整流管才能导通，变压器才能在这个间隙向电容补充电量，并同时给电路供电。电路负载越轻、电容容量越大，这个间隙越窄。主流的电路形式是乙类或接近乙类的甲乙类，在这种电路里，由于音乐信号的动态特性（平均功率很低，瞬时功率很高），音响电路绝大部分时间工作在接近空载的轻负载状态。电容能够更好地适应这种工作方式，只要电容的容量足够大就可以了。这就从根本上决定了大部分时间里向电路直接提供能量的是电容器，而后续的能量供应才由变压器负责。虽然变压器在向电容充电时也同时向电路供电，但时间短，影响小，变压器的功率无需很大就可以满足音乐输出的需要了。

理论与实践是相符的。只要变压器的容量不是严重不足，电源部分对音色的影响主要由电容决定，特别是小音量时。其实看一下市售功放的配置也有助于理解这个问题。大部分功放变压器的绝对功率与功放理论上的连续输出功率相比，显得明显偏低，大部分都是电压偏高、电流偏小的设计。而它们的滤波电容通常取得比较大，这样的组合更有利于得到更大的动态范围。如果使用高功率变压器配低容量电容，整个电源的成本和重量都会增加，不仅电源波纹会增大不少，而且音色很难做到平衡。

我自己曾经做过实验，一台双200W环形变压器的功放，输出±50V，两声道独立供电，每声道使用双4700μF电容来做滤波，结果低音下不去，听起来非常怪异。

将滤波电容加到每声道双40000μF，低音完全释放。再将变压器去掉一个，电容保持80000μF用一只牛拖两个声道，结果小音量时没有明显的区别，只有大动态时才发软，声场也开始混乱。

将保护电路断开，在电容量40000μF的情况下，切断功放的电源，电容的余电可以支持功放继续工作数秒钟。

优质的变压器也很重要，变压器的质量越好，功率越足，内阻就越小，给电容充电就越快，声底越干净，声音越厚实。

顺便说一下整流管。大家都知道正弦波是“单一波”，没有其他的频率分量，但音响电源系统需要把交流转成直流，从电压波形上看，电源系统中只有变压器输入、输出端基本上是正弦波，整流管上就是脉冲波形了，到了电容上就成了标准的“脉动直流”了。在全桥整流电路里，每个周期内，变压器有两次机会通过整流管向电压降低的主滤波电容补充电量。时间很短，由于整流的过程引入了很多新的频率分量（整流、滤波后输出交流分量为锯齿波形），会产生很大的干扰。变压器和整流管的内阻越低，整流管的正向压降越小，补充电量的工作就越顺畅。所以高质量的整流管也是电源中重要的一环，有些音响中选用快恢复二极管甚至肖特基二极管来整流，就是为了进一步降低电源的内阻。

3. 变压器的种类及声音特性

在电源电路中，常见的变压器有E形，C形，环形，R形几种，见图2。每种变压器的特性各有不同。

E形变压器最为普通，其铁芯通常由冲压硅钢片对插成“日”字型框架，它体积大，效率低，内阻高，漏磁最大，优点是造价低，制造方便，抗磁饱和能力强。C形和环形、R形都是卷绕型的铁芯，C形的铁芯是等宽硅钢带制成，为了安装线包方便有一个切口。环形一般也是等宽硅钢带制

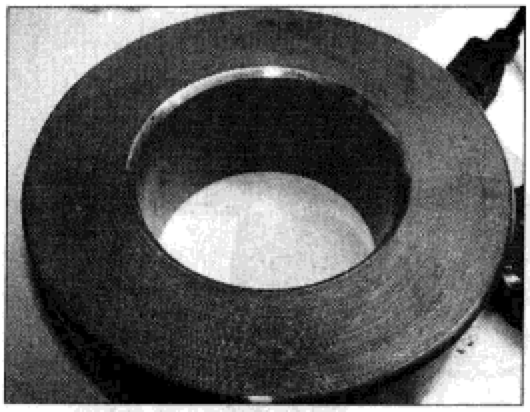


图3 单头硅钢带的环牛铁芯

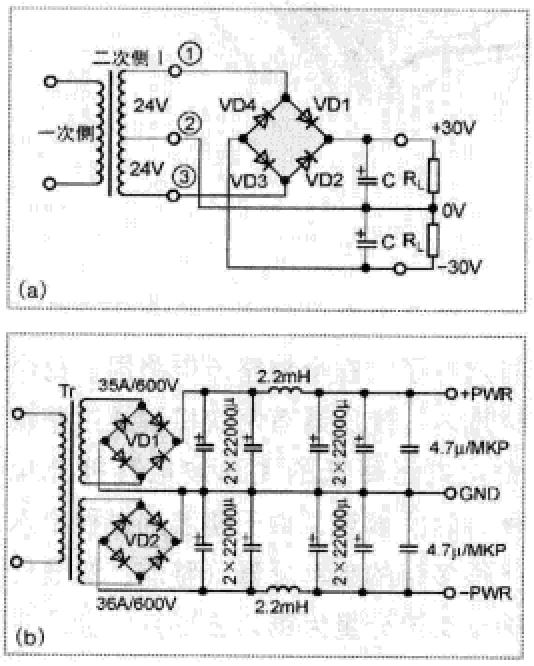


图4 单桥式整流与双桥式整流的接法对比

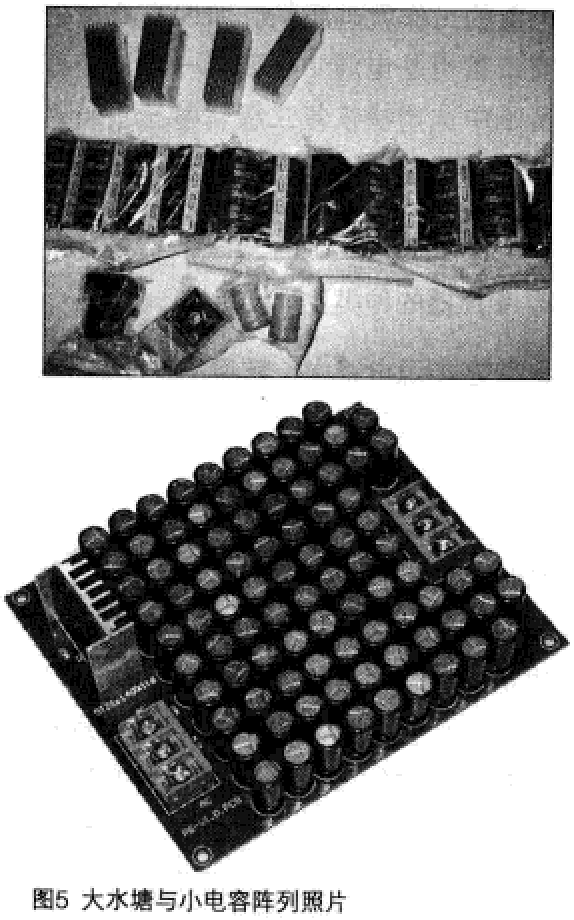


图5 大水塘与小电容阵列照片

成，如果使用连续变宽硅钢带则变身成O形，R形则都使用变宽硅钢带制成。这三种变压器效率高，漏磁小，内阻低，但造价较高。由于铁芯没有间隙，抗磁饱和能力相对较差，特别是环形和R形。而变压器一旦发生磁饱和，性能就会大幅下降。所以对于有直流分量的单端电路的输出变压器必须使用E形。由于结构和外观的原因，环形变压器不易从外观上判断质量高低。铁芯由单条硅钢带制成则性能较高，断点带拼接的性能相对差些，但抗磁饱和能力又要强些，见图3。

E形变压器的声低较厚，速度稍慢，中频表现丰满，低音松软，但声音的密度和解析力稍欠些；C形、环形和R形的速度快一些，高低频的延伸和力度较好，声音密度大。

4. 桥、单桥与双桥，整流管并联小电容改善开关特性

整流桥通常由4个二极管组成，负责将交流电转换成直流电。具体有单桥整流和双桥整流两种常见形式。在半导体器件价格昂贵的年代，使用变压器抽头配合双二极管组成全波整流的电路曾经很常见，现在铜贵硅贱，基本上都是桥式整流了。

双桥整流可以避免变压器次级双绕组不平衡产生的纹波噪声，但是需要变压器次级双绕组提供4个接头。双桥整流常用在前级电路中，由于它多了1组二极管，整流部分的内阻和压降增加了1倍，但前级电源通常是稳压组件，可以忽略这种劣化。后级为了追求更低的电源内阻，更多地使用单桥式整流。

当整流桥后接的滤波电容容量较大时，会产生很大的充电电流脉冲，整流管上会产生很大的电流尖峰，产生较大的内阻和干扰。解决的方案是在整流管两端并联小容量薄膜电容（典型容量为零点零几微法），可以有效地改善整流管的工况。图4所示的是单桥式整流与双桥式整流的接法对比。

5. 大水塘PK小电容阵列

大水塘即大容量电解电容。在音响电源中，由于整流、滤波电路本身的局限和线性稳压电路的低效率、高成本，后级通常都会使用大电解电容滤波以使电源满足对纹波电压的要求。但大电解的等效电感都较大，输出电流也有限。于是有些音频专用大电解采用了内部等效多个小容量电解并联的结构加以改善，这与现在音响中一些大功率管内部采用数个中功率管并联等效的做法有异曲同工之妙。在爱好者的制作中，小电容阵列代替大水塘的做法日趋流行。

小电容阵列的优势与不足：小电容的等效电感本来就较小，多个并联后总电感更缩小为单只的1/N（N为并联的个数），完全可以忽略不计，高频响应明显改善，同时多个电容并联也增大了电流输出能力，正、负电源的电容量整体的误差理论上也缩小于单个电容的1/N。小电容阵列的不足则在于漏电流指标可能会劣化，同时故障率也会有一定的增加，单个电容出现故障后排除的难度也加大了。图5所示的是大水塘与小电容阵列。

6. 神秘的电感

电感有时也称为扼流圈。它的作用是通直流、隔交流，串联在电路中起的作用是低通滤波，主要用来隔离电源里的高频干扰。与电容配合可以有效地减少电源的纹波。顺便说一下，一个元件在电路中的作用如何要看接法和与其他元件的关系。如果电感并联在电路中那就是高通滤波了。同理，电容并联在电路中的接法是低通滤波，串联在电路中就成了高通滤波了。

电感在现代晶体管机中极少出现，特别是乙类机中基本没有使用

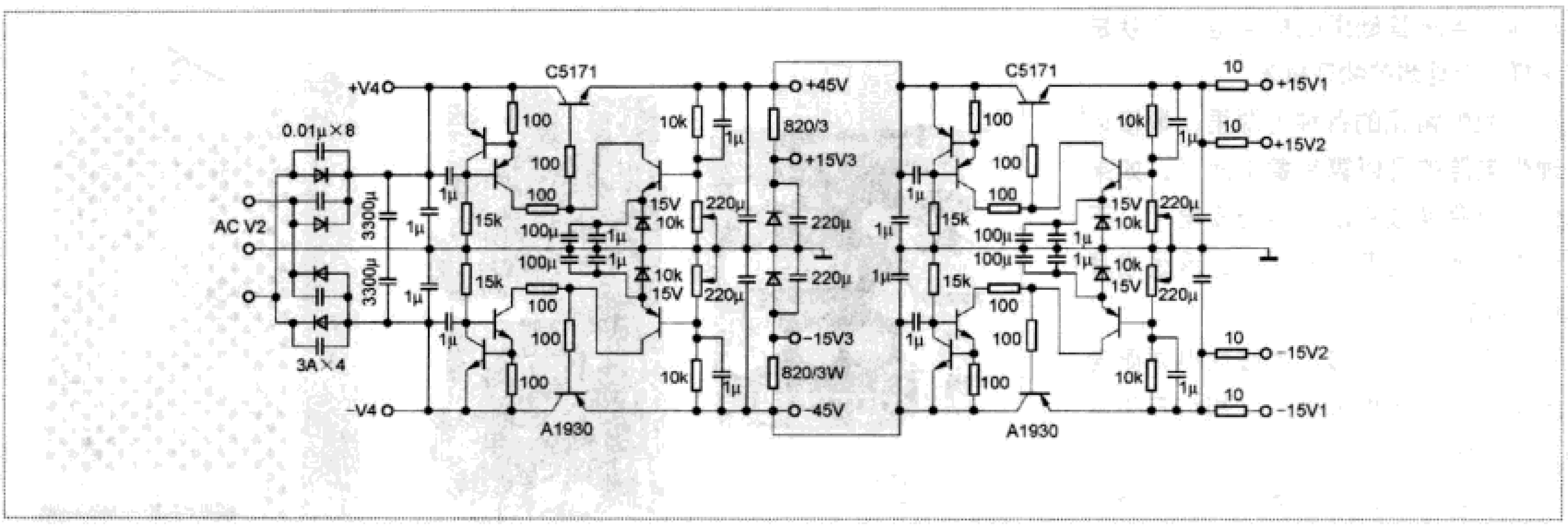


图6 多级稳压电路图

的。它最早当然是出现在胆机之中，因为胆机中电源部分电压很高，通常都在数百伏以上。而早期高压大容量的滤波电容不仅数量少，而且价格非常高。而加入电感，只要配合较小的电容就可以明显降低纹波，而电感本身的成本比高压电容低很多。由于电感中的电流不能突变，电感的引入还降低了整流电路中电流的尖峰，对于整流器件本身也是有好处的。由于胆机多工作在小电流的甲类，电源电流变化不大，所以电感与电容配合的滤波形式得到了广泛的应用。

也有个别晶体管机中有使用的，通常会出现在甲类设计中。它和现在晶体管机中的耦合变压器一样，更多的是一种特色设计或者声音取向的选择。

7. 花样繁多的稳压电路

为了提高声音还原的效果，音响之中，特别是小信号处理电路中通常会采用稳压电路来保证电源的供电效果。常见的有串联稳压，并联稳压。串联稳压调试方便，效率相对较高，并联稳压方式有时也被称为“甲类稳压”（最普通的稳压二极管电路就是最简单的并联稳压电路），其调试相对复杂，效率较低，容量难以做大。由这两类基本电路又派生出各种花样，如将传统的串联工作的三端稳压器件加上运放进行伺服，有效地提高了电路的纹波抑制和瞬态反映能力，将传统的双极型晶体管换成响应速度更快的场效应管，使电源的噪音和反应速度得到提高，有些甚至采用多级稳压以进一步提高电路指标，甚至在稳压电路中也采用音响专用管来进一步提高音色方面的表现力。图6所示的是多级稳压电路原理图。

8. 前、后级高低压供电

在功放中由于末级管在大电流输出时会产生较大的管压降，同时末级电源供电的稳定性也较低，为了保证功放有尽可能高的有效输出摆幅，将信号放大电路采用高压稳压供电，而推动级之后的大电流部分采用低压的整流、滤波供电成了一种常见做法，即前后高低压供电。一般会使放大电路的供电电压比末级电压高出3V以上，即可有效改善功放的大动态输出能力。

9. 高电压与低压之争

对于音响电路，究竟是高电压供电效果好还是低电压供电效果好，一直都有争论。普通家用功放的供电电压通常不高，一般不超过±50V，而专业功放则由于功率较大，通常会用±60V以上的电压供电，有些甚至超过±100V。也有不少人认为电子管功放音色独特的一个原因就是高电压小电流的工作状态。由于半导体器件的非线性，在不同的电压，不同的温度等条件下特性是不一样的，产生的谐波分量也不同，就会造成听感上音色的差别。至于哪种更好，并无定论。一般认为高电压供电声音的力度感和动态感会好一些，但音色容易显得生硬，而低电压供电则较柔和、韵味足，有时的动态表现却又差一些。

10. 不同电路对于电源的不同要求

古老的单端电路由于电路的对称性差，各级工作点受电源电压影响大，对电源要求也相对更高。电路本身越是简单，往往对电源越苛刻。使用恒流源负载比使用电阻负载的电路对电源要求就要低一些。流行的对称推挽电路由于大量使用差分对，恒流源负载，电流镜等，对电源的纹波相对不敏感，各级工作点受电源电压影响小，工作电压的范围也较大一些。

开关电源

我们先定义一下理想电源：电压恒定，内阻为0Ω，永远也不会有过流

问题。电路基础里的标准电压源就是这样一个理想的物理概念。

我们常见的各种电源里，最接近理想电源的可以算是蓄电池了，如果你的电源换成它以后声音变差了，不是蓄电池有问题，而是你的系统或耳朵有问题。

毫无疑问，传统的线性电源离理想电源的标准相去甚远。那么开关电源怎么样?

在若干年前，开关电源还是个新鲜事物，它主要用于工业产品，随着半导体技术的飞速发展，开关电源的性能突飞猛进，价格节节下跌，终于从信息技术产品开始席卷家用电器，得到了广泛的应用。现在随意拿起一个外接电源或充电器打开，都可以看到开关电源的身影。连传统线性电源长期占据统治地位的音响领域，开关电源的影响与应用也在日益扩大。与所有新兴技术一样，开关电源最初也受到了很多质疑：如造价偏高、干扰较大、稳定性与可靠性不高、音色表现不够满意等。十几年前我们很多人做梦都没想到自己会用上“大哥大”吧，现在手机成了什么了？十年前 100 万像素的数码相机要卖到万元，现在 1000 万像素的数码相机只卖千元的价位。所以千万不要怀疑科技的威力，有些时候，旧的技术还没有被取代，并不是因为它仍然足够先进，而是因为市场和其他因素。CD 刚出现的时候，大家对其生硬的“数码声”也是颇有微词，甚至MP3刚出现时也被认为与“Hi-Fi“无缘，但科技的发展最终使大家欣然接受了它们。虽然目前开关电源应用于音响的案例还不算太多，但其原理与结构上的先天优势是传统线性电源所无法比拟的。与近年来崛起的 D 类功放合堪称黄金搭档。其工作频率的优势，转换效率的优势，完善的保护功能和不断提升的性价比，广阔的发展空间都远胜于传统电源。与传统工频整流、滤波的简单电源相比，开关稳压电源的工频纹波明显更小，无论是静态还是动态条件下均是如此。这说明它的静态和动态内阻都更低，理论上当然会有更好的表现，无论是高频还是低频。实际上由于体系尚不完美，听感上还没有完全超越传统电源，但至少已经是各有所长。图 7 所示的是几种常见的开关电源。

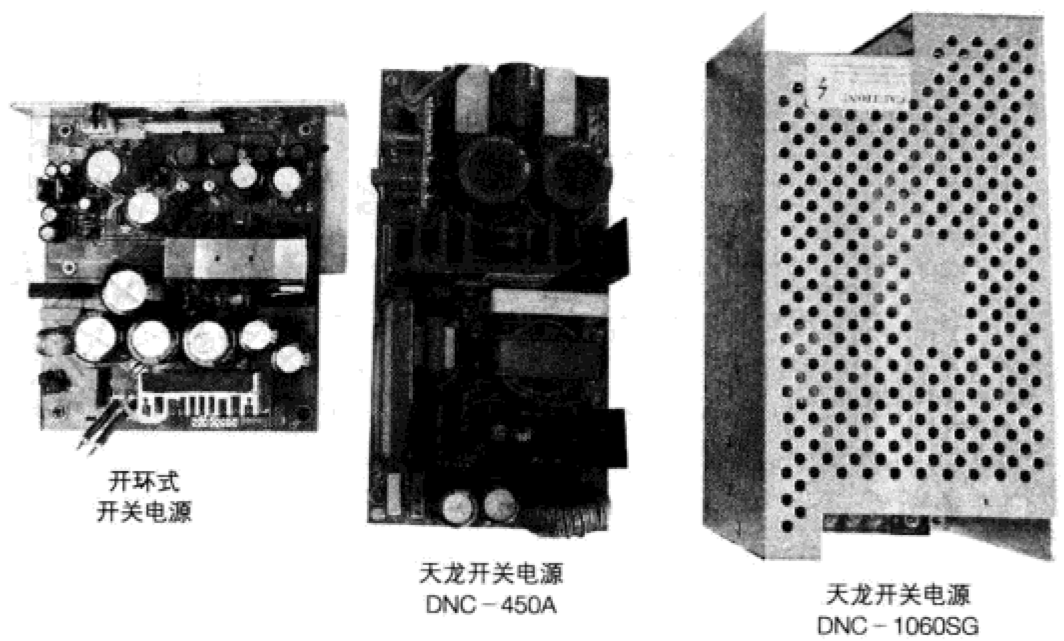


图7 几种常见的开关电源

现在音响用的开关电源工作频率高于100kHz，远高于音频范围，其纹波的频率和幅度对音频的影响已经足够小了。而传统电源的纹波基频及其谐波分量却都分布在音频范围内，而且幅度还要大得多。关于成本问题，现在也不再是问题了。硅芯片一直在降价，而铜和铁却一直在涨价。1000W的音响用开关电源价格已经低于400元，不仅是稳压输出，还同时具备完善的过压、过流等保护功能，而400元你连头1000W的好“牛”可能都买不到！

由于音响行业规模有限，针对音响专门开发的开关电源为数稀少，而且还有不完善的地方，但是已经显示出了巨大的能量。以笔者使用过的两种开关电源来看，无论是简单的开环式电源，还是所谓音响专用的天龙系列，其实际应用表现都有可圈可点之处。关于传统电源和音响开关电源的测试对比，笔者曾经做过相关的测试，有兴趣的读者请参阅笔者发表于本刊的相关文章。

发烧电源线、电源滤波器与净化电源

粗壮的发烧电源线确有效果，但大多数场合相当不明显。只有当整套系统相当有档次，而且调整到临界状态时（此时各个环节的峰值是重叠的，稍有调整就会有较明显的变化），电源线的变化才能体现出来。如果你专门改造了入户电力线路，并且使用了专门的净化稳压电源，那么作为精益求精的选择，发烧电源线是一个合理的选项。实际环境中，只要使用的线材较粗，纯度有一定保证，就足够了，没有谁能保证他的耳朵能准确地在一般听音环境中分辨电源线的区别。

对于大部分人来说，电源滤波器是一个非常有用的东西，它的内部其实是一组共模的电感、电容滤波组

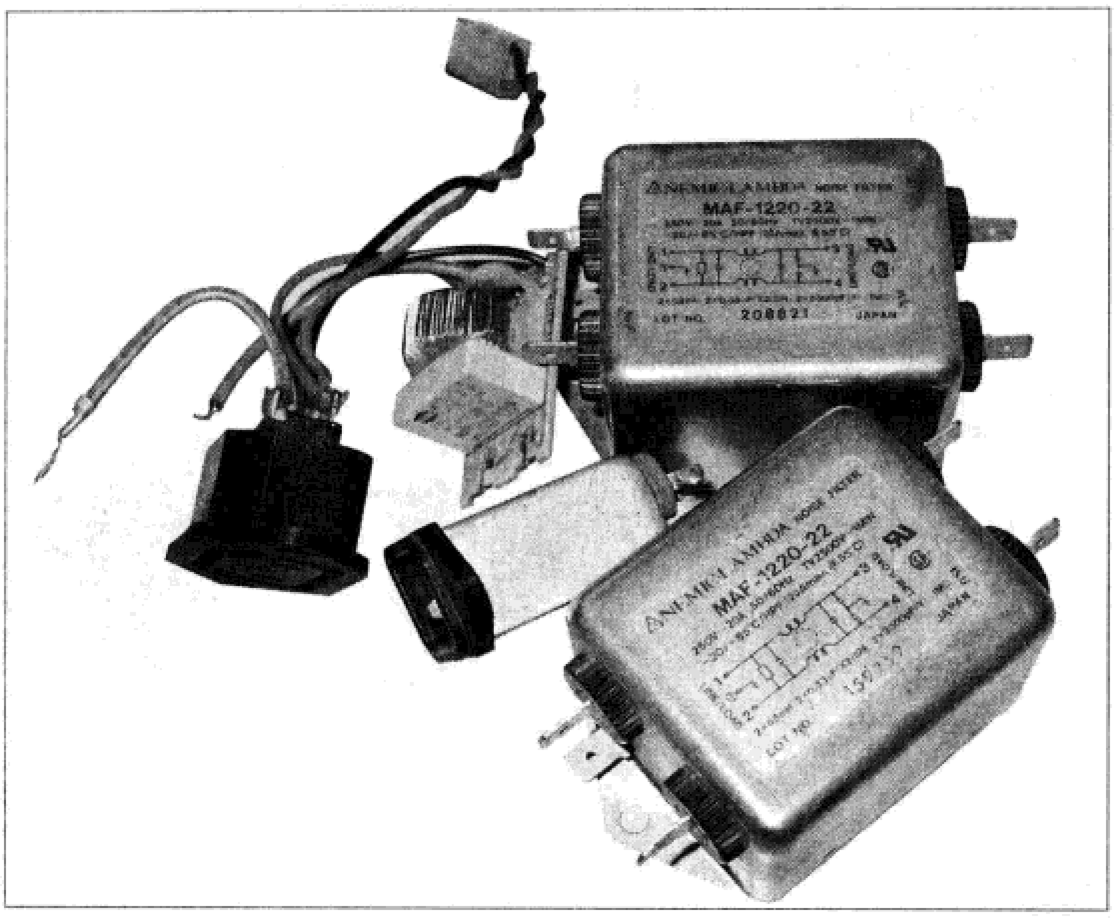


图8 电源滤波器内部电路与实物照片

合，可以有效地滤除电路中的高频脉冲干扰，从源头上对电源进行净化处理，而且只要不太追求“金银”效果，花钱不多。图8所示的是电源滤波器的实物照片。

系统的终极猜想

人类要脱离无知，就必须学习，而在学习的同时，又要尽力避免使自己被已知束缚了思想。以前大家都很怀疑D类功放的声音，现在不是有很多数字功放已经达到顶级水平了吗？如果DAC能够实现功率输出，我们还会要功放么？如果扬声器系统可以实现数字化，我们还用现在的器材去发烧么？让我们放开思路，深刻理解系统的原理，并创新结构。例如我曾经尝试过用三端稳压集成制作功放，使用开关电源控制芯片开发D类功放、利用电源自举技术使普通运放增加输出摆幅，浮动电源地线使末级在1V的驱动信号下满幅输出……

将来的功放，主流是D类功放加开关电源，甚至可能是开关电源与D类功放一体化的产品。十几年前我就关注了D类功放，发现它与开关电源有诸多相似之处，从原理图上只是采样比较的输入不同，一个是与基准电压比较，一个是与输入音乐信号比较。这两者真是黄金搭档，而且原理上完全可以合二为一。

而功率 DAC 的概念也非常诱人，如果扬声器系统能够直接数字化，那么整个系统更会发生革命性的变化。图 9 所示的是使用开关电源的 D 类功放。

音响是一个特殊的领域，它的最终受体是人的耳朵，由于人的主观性影响，它至今没有一个技术与主观完美统一的评判标准。于是我们最后的结束语也无法依据现有的技术来武断地下结论。

目前简单的变压器整流、滤波电路，可玩的花样很少，也没有多少继续提升的空间，巨大的体积和重量、高昂的成本、低下的效率、巨大的纹波，从技术层面上已经显出颓势。但由于它在音色上仍有特点，所以可以预测，未来传统的线性电源仍将继续在音响领域中占有一席之地。大家或许都同意电源电路中变数最大的是电容，因为电容的音染较为明显，而且各有不同，显示出不同的音色和个性。变压器其实也一样。传统电源的魅力其实就在这里，它是校声手段的重要组成部分，可以形成机器的所谓“个性”；开关电源则明显中性平淡，会让人觉得“韵味不足”，而且由于技术上的限制，自己能够调整的地方也很有限。

“Hi-Fi”的本意是高保真，是忠实中性地进行还原。而人的主观喜好千差万别，每个人的选择都是独一无二的。系统的搭配组合，调试与校声，归根结底是为了满足聆听者个性化的需求。这种永远没有统一结果的变数已经与“Hi-Fi”的本质无关，但对于发烧友来说，它是乐趣的源泉。

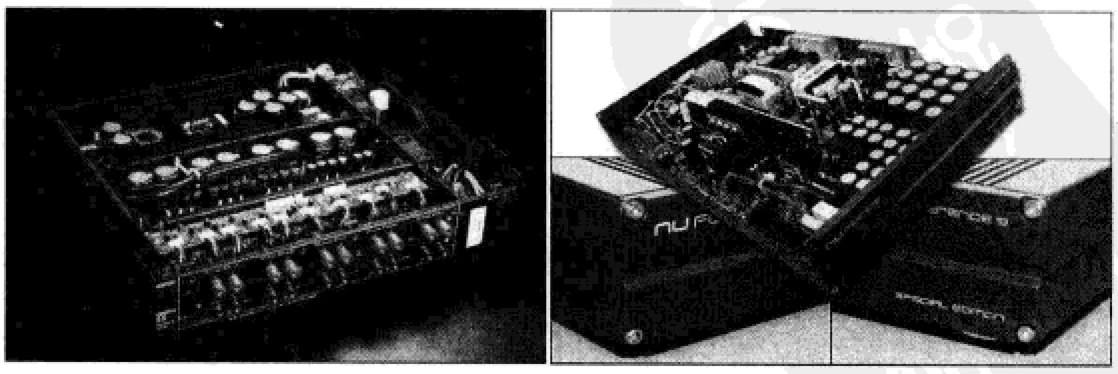


图9 使用开关电源的D类功放

玩转老功放之高级篇（上）

◎梓门

高级篇的目的是大致弄懂电路的工作原理，换言之，就是基本看懂电路原理图，搞清楚电路是按照什么样的流程工作的。请注意，看懂电路原理图是为了解决如何判断一款电路的优劣，而不是去进行电路设计。在看懂电路原理图之前，就像听一支并非通俗的乐曲，如钢琴曲或者美声唱法的歌曲，我们能感受到这首歌曲的旋律比较优美，或者通俗地说，比较好听，但是对它所表达的内涵却不甚了了。如果将旋律风格都是你喜欢的几支乐曲放在一起，我们往往不能分辨孰优孰劣。如果我们能看懂电路原理图了，那么我们就像能够理解一支非通俗乐曲的内涵，能分辨旋律风格相似的乐曲的优劣一样。喜欢上它们并进行更深层次的专业学习，成为电路设计工程师或者音乐家，也是不可知的事情，毕竟，兴趣是最好的老师之一。

所谓“外行看热闹，内行看门道”，看不懂门道，那么就会对发烧、补品、镀金、配对等带有商业色彩的词汇盲从，徘徊在电子世界的大门外，而没有走进其更加丰富的内部。

集成电路（IC）的发展就像一场大雪掩盖了大地上的万物，所谓“大河上下，唯余莽莽”，业余爱好者认识电路本来面目的难度增加了，机会减少了。老功放恰恰是采用IC比较少的，尤其是20世纪80年代中期之前的产品，全分立元件的产品不在少数。如果想更加全面地了解电路的原理，那么研究老收音头就更合适。因为功放属于中、低频放大器，要了解高频放大器，收音头最为合适。除了晶体管，电子管放大器至今仍然有一定数量的爱好者，电子管基本不存在集成的问题，机器的新旧并不影响我们了解其工作的原理，但是老机器的设计一般却是更为成熟。

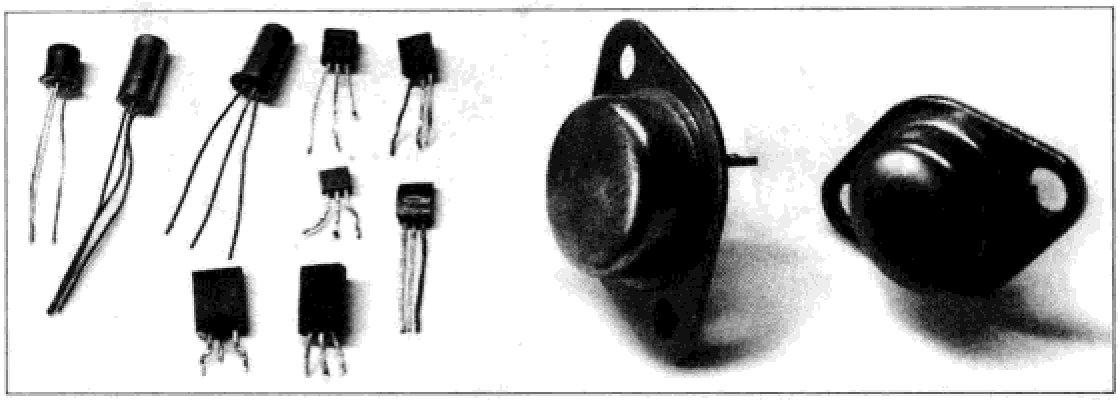


图1 其他常见的三极管实物（大致同一比例）

关于收音头和电子管的问题，笔者将另文讨论，本篇仍然只是关注功放的工作原理。

构成功放的基本电子元器件

构建功放的基本电子元器件大致包括晶体管（三极管为主，其次是二极管）、电阻、电容，电感也会少量用到。当然，除了电子元器件，还会有机械器件，常见的是机械式的开关，最常见的是继电器，多用于输出保护。因为这些器件价格高、寿命短，因此随着时间的推移，用量越来越少，不过，在老功放中用得还是比较多的。

1. 晶体三极管

功放中用到的晶体管最常见的是双极型三极管（BJT），绝缘栅的场效应管（VMOS）也有一些应用，在前级中，结型场效应管（J-FET）也有应用。在有些功放中，还会用到GTR（Giant Transistor，大功率晶体管）或者达林顿管。达林顿管的特点是放大能力强，对驱动信号的要求低，但是放大的线性不如BJT，小功率达林顿也用于小信号放大电路。

在外观上，双极型晶体管与场效应管并无特定的明显区别，需要根据型号进行判断，除了初级篇、中级篇中提到的塑封（塑料封装）的功率晶体管，其他常见晶体管的实物如图 1 所示。

晶体三极管的技术参数有很多，需要我们关注的有：

（1）电压极限参数 V_{CEO}

对双极型晶体管而言，表示关断状态下（基极与发射极之间的电压为0V）集电极与发射极之间能够承受的最大直流电压。对场效应管而言，表示关断状态下，漏极与源极之间能够承受的最大正向直流电压。

电压规格在换管时应该遵循“宁大勿小”的原则，即如果型号不同，电压规格至少要与原管相当，或者偏大一些。对于VMOS，则应该选择相近的，因为VMOS的饱和压降受电压规格的影响比较大。

（2）电流极限参数 I_{CM}

I_{CM}在换管时同样应该遵循“宁大勿小”的原则，但也不应该偏大太

多，因为I_{CM}越大的管子，需要的驱动电流越大，如果驱动电路不作变动，会影响电路的放大线性。

（3）放大倍数

双极型晶体管的放大能力一般用共发射极电流放大倍数β来表示，即基极电流的变化对集电极电流的影响能力，虽然末级（输出级）的晶体管对放大能力的要求不高，但是放大能力对静态工作点有一定的影响。

场效应管的放大能力一般用跨导来表示，即栅极电压对漏极电流的影响能力，电子三极管也是用跨导来表示放大能力。

无论是双极型晶体管还是场效应管，放大能力均与工作电流（集电极/漏极电流）相关，所以，查看放大能力参数时应该同时关注集电极电流（I_C）与集电极和发射极之间的电压（V_{CE}），只不过，此时的I_C并非极限值参数；所谓的晶体管配对，并不是根据技术手册上的数据配对，而是要根据实际的工作条件进行配对。

在换管时，对于双极型晶体管，放大能力相近即可，对于场效应管，则要求尽量接近，同型更换也是如此。

（4）特征频率 f_T

f_T表示晶体管能够适应的最高工作频率，这时候它的放大能力为0。实际应用时，特征频率一般要比实际的工作频率要高10倍、数十倍，尤其是前级的小信号放大。

（5）开启电压

场效应管的参数，表示场效应管开始导通时的起始电压（栅极与源极之间），一般在2～5V。注意，这里的导通不是饱和导通，而是处于放大状态的部分导通状态，对于双极型晶体管，只要基极与发射极之间的电压处于正偏就会导通（如果偏置正确的话，即NPN型需要正电压，PNP型需要负电压）。在音频放大器中应用的VMOS，一般采用的开启电压比较低

表1 晶体管技术参数的字母标识

项目	电压极限参数	电流极限参数	放大能力	特征频率	栅极开启电压
双极型晶体管	V_{CEO}	I_{CM}	h_{FE} / β	f_T	
场效应管	V_{DGO} / V_{DSS}	I_D	g_m /（g_{fs} / y_{fs}）		V_{GS}（TH）

表2 SONY TA-1150所用晶体三极管的主要技术规格

编号	型号	V_{CEO}	I_C	h_{FE} / β	f_T	互补型号	备注
VT101/201/301/302/401/402	2SC632A	50V	200mA	400	140MHz	2SA705	NPN
VT501~503	2SC634A	50V	200mA	400	140MHz	2SA678	NPN
VT303/403/311/551	2SA678	50V	200mA	250	140MHz	2SA634A	PNP
VT304/404	2SC633A	25V	200mA	400	140MHz	2SA677	NPN
VT305/405	2SC1124	140V	1A	160	120MHz		NPN
VT306/406	SA706	60V	1A	150	120MHz		PNP
VT307/309/407/409	2SC1060	50V	3A	35～320	8MHz	2SA670	NPN
VT308/310/408/410	2SA670	50V	3A	35～200	32MHz	2SC1060	PNP

（2V）的品种，而工业上的应用，则以5V左右的居多。上述技术参数的符号如表1所示。

SONY TA-1150上没有用到场效应管，晶体三极管的型号与参数如表2所示。所谓的互补型号，是指制造商推荐的对管，即技术参数特性相似的NPN和PNP管。

2. 晶体二极管

晶体二极管的种类也很多，不过功放中用得最多的是整流二极管、开关二极管、稳压二极管、发光二极管（LED）。三极管与二极管均有硅管与锗管之分，这是根据半导体材料来分类的。功放中的三极管，基本上是硅管，因为锗管的热稳定性欠佳，二极管中，整流二极管、开关二极管、稳压二极管也都是硅管，发光二极管则以砷化镓居多，在一些收音头中，检波用的锗管还是会用到。整流桥在功放中也很常见，是将4个二极管封装在一起构成桥式整流器的集成产品，业界一般也将其归属于二极管而不是IC。图2所示的就是一些常见的二极管实物，左侧的一列是一些玻璃封装（简称“玻封”）的二极管，开关二极管、稳压二极管常常是这个样子的，中间的大都是塑料封装（简称“塑封”）的，整流用的普通二极管以这种形式居多，个头越大，功率越大。右面的两个就是整流桥。

二极管的参数几乎和三极管一样多，不过需要我们特别关注的，首先是二极管的种类，其次是电压参数和电流参数。因为二极管不承担放大任务，电压参数和电流参数的选择相对而言也比较宽松，业余条件下，成本不敏感，就可以选择电流/电压参数高得多的型号，视手头或者当地易于购买的型号而定，如开关二极管大都可以用常见的1N4148代用。不过应用类

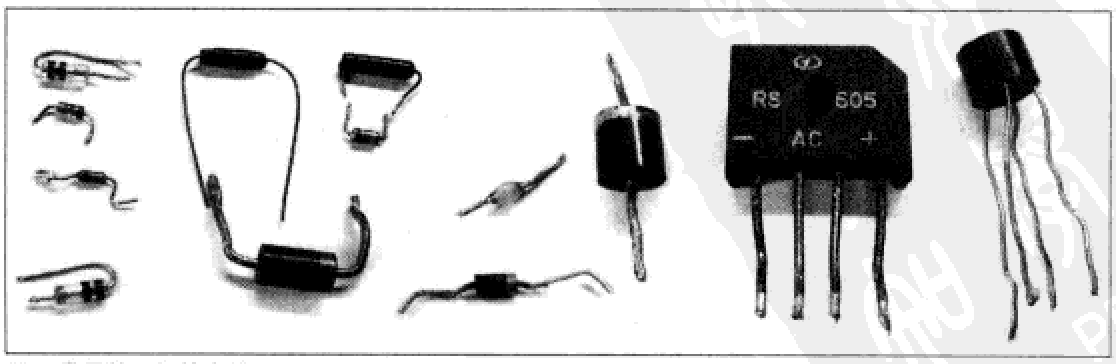


图2 常见的二极管实物

型却是马虎不得，尤其是稳压二极管与普通二极管，它们的区分，一是看型号，二是看电路原理图或者印制板上的印字（与电路原理图上的标识一样）。

3. 电阻与电容

电阻与电容常常并称为“阻容元件”，是所有电子电路中最常见的元器件，以数量而论，远远超过其他元器件的用量。

相比电阻而言，电容的种类更多，根据介质材料的基本特性，可以分成两大类，一类是静电电容，以固态的非电解质为介质材料，电容本身没有极性，容量一般比较小，损耗小，寿命长，并且更耐高温，如常见的瓷片电容、聚酯电容、CBB（聚丙烯）电容等，都属于静电电容的范畴，另一类是电解电容，以电解质为介质材料，电容本身有极性，损耗大，但是容量大，寿命相对而言短一些，常见的是铝电解电容，现在钽电容也比较常见了。将两个电解电容装在一个壳体内，也可以做成无极性电容，但是这种无极性电容在本质上与静电电容是不同的。另外，现在市场上已经出现了有机介质的大容量静电电容，电容的容量也可以做到几千微法，目前还主要用在大功率的工业产品上。常见的电容实物如图3所示。

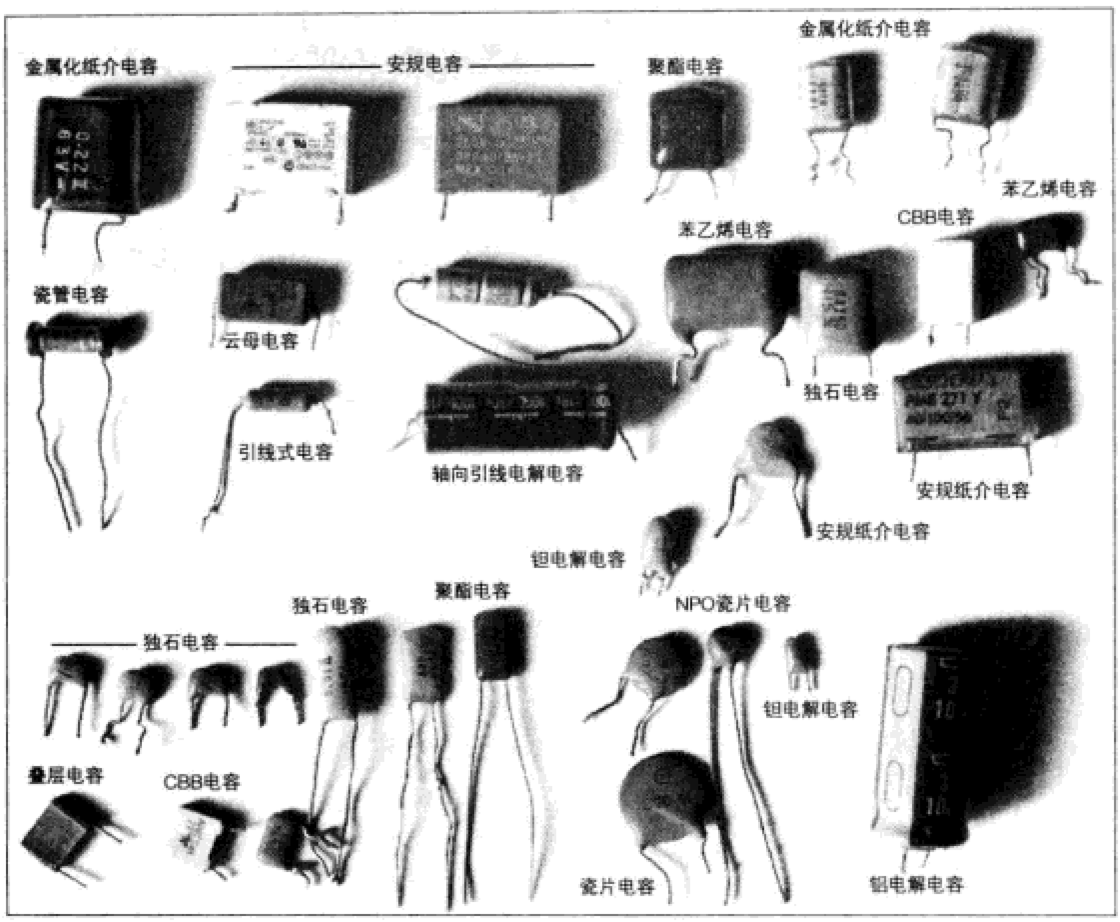


图3 常见的电容实物

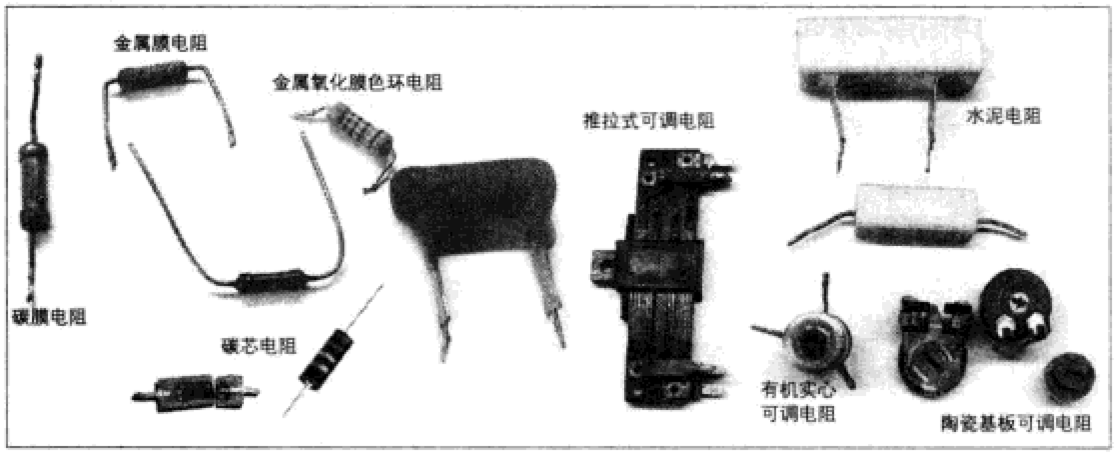


图4 常见的电阻实物

电容的技术参数，我们一般只需要关注其电压规格和容量规格即可，对于静电电容，甚至仅仅需要关注其容量规格即可。电容本体上还常常用色点或者字母来标称其容量公差（容差），除了一些特殊电路需要关注以外，如功放中的音调电路等，并不需要特别关注。相对而言，收音机等有调谐、振荡电路的部分，对容量的公差要求高一些，有些时候对温度特性也有要求，图中的NPO瓷片电容就是指温度漂移系数为0品种（实际上是指温度漂移系数可以忽略不计）。

电阻的种类其实也很多，不过大量应用的品种却是有限的。小、中功率产品以薄膜电阻为主，早期的产品，以碳膜电阻为主，现在则是以金属膜为主了。这类电阻均是在磁管或者其他载体上镀上一层薄膜，然后刻上螺旋状的纹路以调整到合适的电阻值，金属膜有普通金属膜和金属氧化膜之分，前者的功率耐受力强一些，不过在实际应用中大多不去刻意区分它们。中、大功率的产品，水泥电阻居多，线绕电阻也不少见，两者的主要区别是载体不同，电阻本体的区别并不明显。除了电阻值固定不变，还有可变电阻，需要用螺丝刀等辅助工具调节的，一般就称为可变电阻或者可调电阻，早期的资料还有称之为半可调电阻的，也有资料将两个引脚的可调电阻单独称为半可调电阻的；而直接用手（或者通过手柄）调节的，则常常称为电位器，如功放中的音量电位器、音调电位器等。常见的电阻实物如图4所示。

电阻的技术参数，我们一般需要关注其电阻值，功率参数一般并不严格，同类产品，根据其大小来大致确定其功率即可。除了贴片产品，电容常常直接用数字来标称其容量，而小功率电阻则更多的采用色环，中、大功率则和电容一样，用数字来标称其电阻值和电阻值公差，品牌产品还会同时标称制造商的徽标（logo）或者商标。一般情况下，我们并不需要特别关注电阻值公差的参数。

4. 电感

如果不将电源变压器归类为电感的话，功放中电感的用量很少，最常见的是功放输出端的抑振电感，一个通常是10圈左右的空芯电感。在滤波电路中有时候也会见到电感的影子，尤其是现在已经开始流行的D类放大器，滤波电感大多是必不可少的，尤其是大功率产品中更是如此。磁珠是比较特殊的电感，一根金属导体穿过一个圆柱形的空芯磁体，主要用来抑制可能的高频振荡，也用于超高频滤波。有时候在晶体管的引脚上也可以见到圆柱形的空芯磁体，那是将晶体管的引脚当作磁珠中间的导体了。保险电阻有时候与普通电阻在外观上并无二样，有时候则像图5中的那样的特殊外形，无论是何种形状，内部均不是一根直的导线，将其视为特殊电感或者特殊的电阻似乎都不为过，这里因为图片篇幅的关系，将其列到电感实物图中了。在实际电路中，如果测量到某个电阻的电阻值为0Ω，除了判断它是不是损坏了，还要判断它是不是保险电阻，因为电阻的短路故障很少见而以开路故障居多。

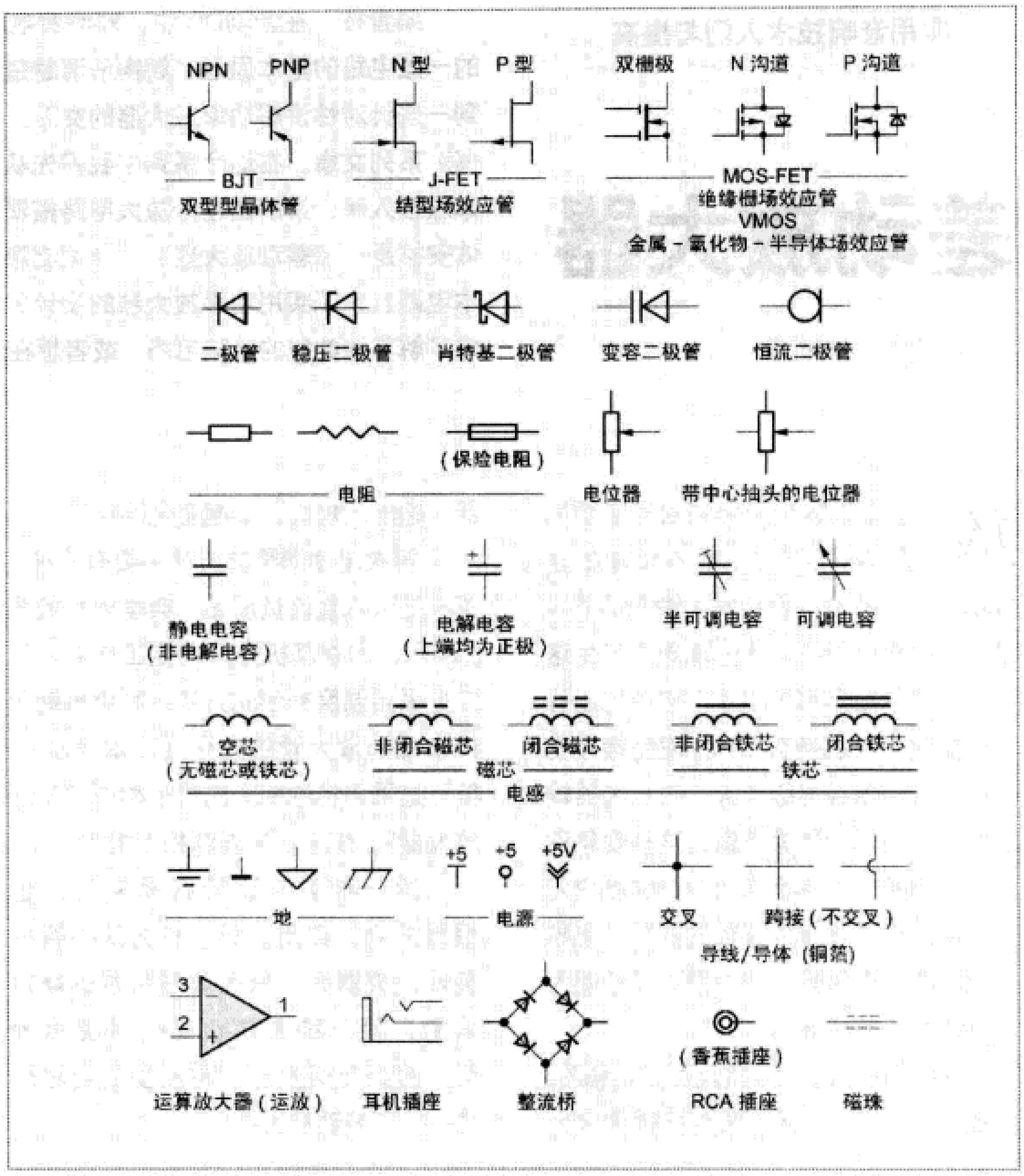


图6 比较通行以及曾经比较通行的元件电路原理图符号

不同的电子元器件构成的音响设备，在音色上的确有差异，但是就像不同歌手的歌喉，只要唱得好，并不能说哪位歌手的音色更好，也并不是所有的人都喜欢帕瓦罗蒂的高音，因此音色的差异不能延伸到孰优孰劣上，它们的差异也绝不像很多主流媒体宣称的那样，有高低贵贱之分。

上述差别，对于晶体管产品，电容的影响更为明显。对于电子管产品，电阻的影响仅次于电容，但是绝不像很多媒体宣称的那样大，更不会那么明显的有高低贵贱的差别。只要电路设计合理，元器件的质量有保证，请注意，是质量有保证，不是档次高低，很便宜的产品只要是严格按照标准生产的，档次自然不高，但是质量是有保证的，它们构成的产品一样是优秀的。就像千年古塔和现代的摩天大厦，魅力的高低是一样的，构成它们的砖、石、水泥就像是电子产品中的晶体管、电阻、电容等电子元器件。

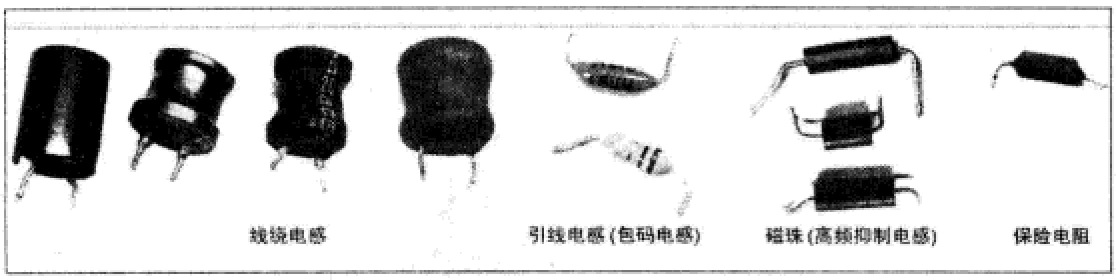


图5 常见的电感实物

实用音响技术入门与提高

差动放大器

◎葛中海　陈永新

编者按：在音响DIY中，对照着电路图制作功率放大器不算太难，但要对其中的一些电路的基本原理了解得清清楚楚，却不是那么容易了，有不少读者希望能看到一些针对性讲解功率放大器的文章，为此，我们组织了《实用音响技术入门与提高》系列文章。在这个系列中我们先从在功放电路中应用较多的差分放大电路的基本原理入手，讲解由差分放大电路搭建的音频功率放大电路的特点及设计要求，具体安排是：《差动放大器》、《恒流源电路》、《集成运放》、《功率放大器的基本电路》、《实用功率放大器的设计》、《功率放大器的制作实例》。如果有人还想了解其他类型的音响电路，或者想在这个课堂授课，请与我们联系。

放大直流或缓慢变化的信号必须采用直接耦合方式，但在简单的直接耦合放大器中，常会发生输入信号为零时，输出信号不为零的现象。产生这种现象的原因是由于温度、电源电压等发生变化，引起静态工作点发生缓慢变化，该变化量经逐级放大，在放大器输出端出现不规则的输出量，这种现象称为零点漂移，简称零漂。由于温度变化所引起的半导体器件参数的变化，是零点漂移的主要原因，因而零点漂移即为温度漂移，简称温漂。

图1所示为放大器温漂测试示意图。输入信号（u_i=0）经多级直接耦合放大器，输出无规则、缓慢变化的信号 u_O。

解决温度漂移的方法主要有三种：第一是引入直流负反馈，典型电路如图2所示，即在基极分压稳定工作点；第二是采用温度补偿的方法，利用热敏元件来抵消放大管的变化（成本太高）；第三是采用特性相同的管子构成“差动放大器”，使它们的温漂相互抵消。

第一种方法比较容易实现，也相当常见、实用，第二种方法不容易实现，成本高，只有非常特别的场合采用；第三种方法也是一种温度补偿，由此而衍生出一种新型的电路形式——“差动放大器”。

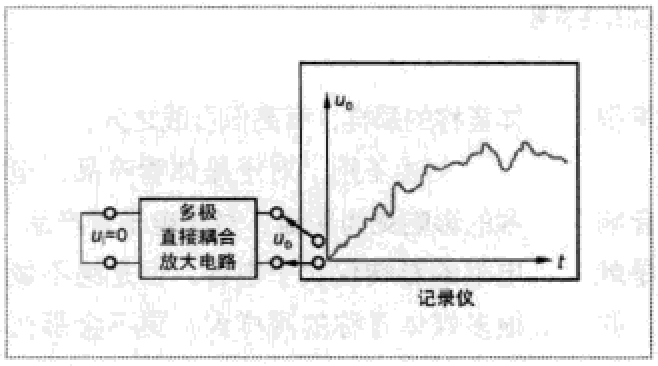


图1 放大器温漂测试示意图

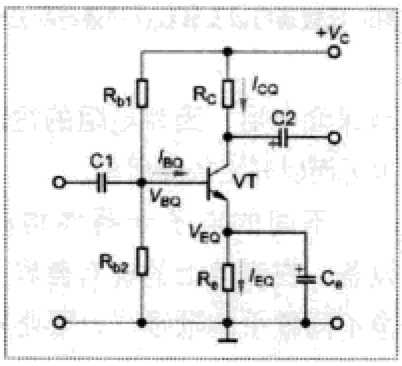


图2 稳定工作点偏置放大器

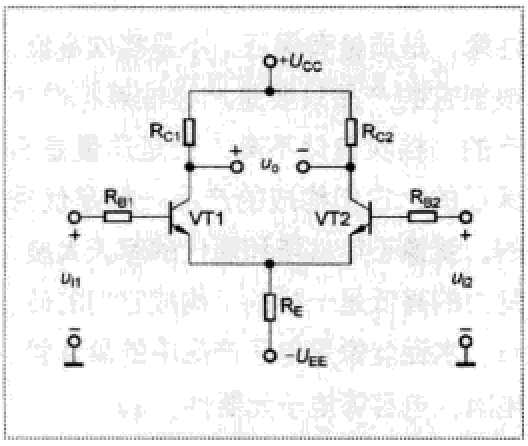


图3 差动放大器基本电路

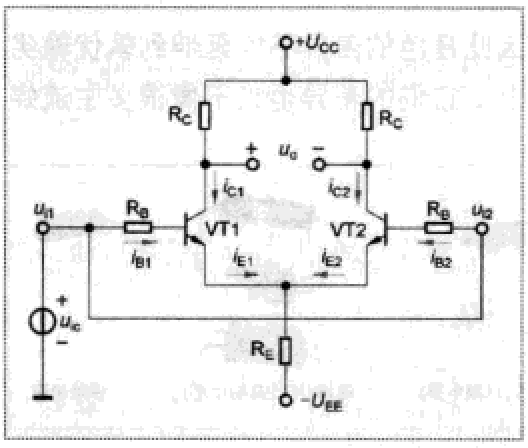


图4 差分放大器共模输入

差动放大器的基本结构

差动放大器的基本电路如图3所示。元件参数左右对称，采用正、负电源供电，有两个输入端（两管的基极）和两个输出端（两管的集电极）。

静态时（u_{i1}、u_{i2}=0），由于电路完全对称，则$U_{CQ1}=U_{CQ2}$，所以输出电压$u_O=U_{CQ1}-U_{CQ2}=0V$。当温度或电源电压变化时，由于两只管子所处的环境一样，引起的变化相同，所以$\Delta U_{CQ1}=\Delta U_{CQ2}$，两管的温漂相互抵消，输出电压仍为零，这样就较好地抑制了温漂。

共模信号和差模信号

在讨论差动放大器的性能和特点时，必须首先区分共模信号和差模信号，因为差动放大器的主要性能和特点就是体现在它对共模信号和差模信号具有完全不同的放大能力上。

1. 共模信号

在研究三极管放大器时，为了描述问题的方便，常常需要对电路中各种参量（电压和电流）进行约定，比如，静态时三极管各电极电压和电流均为直流，动态时各电极电压和电流为交、直流的叠加，具体规定如下：

U_{CQ1}	大写字母配大写下标，表示纯直流量
u_{i1}	小写字母配小写下标，表示纯交流量
ΔU_{CQ1}	小写字母配大写下标，表示含有直流分量的交流量

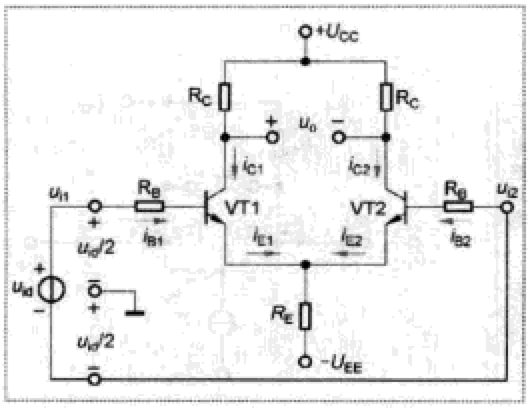


图5 差动放大器差模输入

如图4所示电路，u_{ic}（i指 input的字头，c指common的字头）为大小相等、极性相同的输入信号（称为共模信号），由于电路参数对称，VT1管和VT2管所产生的电流变化相等，即$\Delta i_{B1}=\Delta i_{B2}$，$\Delta i_{C1}=\Delta i_{C2}$，因此集电极电位的变化也相等，即$\Delta u_{C1}=\Delta u_{C2}$，因输出电压为VT1管和VT2管集电极电位差，所以输出电压$u_O=u_{C1}-u_{C2}=(U_{CQ1}+\Delta u_{C1})-(U_{CQ2}+\Delta u_{C2})=0V$，说明差动放大电路对共模信号具有很强的抑制作用，在参数完全对称的情况下，共模输出为零。

实际上，差动放大电路对共模信号的抑制，不但利用了电路参数对称，使两管的集电极电位变化相等，而且还利用了射极电阻R_E对共模信号的负反馈作用，抑制了每只管子的集电极电流，从而抑制集电极电位的变化，所以当采用单端输出时，即使没有利用电路的对称性抵消温漂，但由于R_E的共模负反馈作用，仍能较好地减小温漂。

2. 差模信号

电路如图5所示，输入信号u_{id}（i指input的字头，d指 differential的字头）加在两管基极之间，若把u_{id}“拆分”为大小相等、极性相反信号（称为差模信号），即$u_{i1}=u_{id}/2$，$u_{i2}=-u_{id}/2$加到两管的基极与地之间，由于$u_{i1}=-u_{i2}$。又由于电路参数对称，VT1管和VT2管所产生的电流的变化大小相等而方向相反，即$\Delta i_{B1}=-\Delta i_{B2}$，$\Delta i_{C1}=-\Delta i_{C2}$，因此集电极电位的变化也是大小相等而方向相反，即$\Delta u_{C1}=-\Delta u_{C2}$，这样得到的输出电压$\Delta u_O=u_{C1}-u_{C2}=2u_{C1}$，从而实现电压放大。

3. 静态分析

如图5所示，由于R_E接负电源-U_{EE}，像拖着一个长长的尾巴拖在两只对管下方，故称为长尾式差分放大器。设电路参数理想对称，$R_{B1}=R_{B2}=R_B$，$R_{C1}=R_{C2}=R_C$，VT1管和VT2管的特性相同，$\beta_1=\beta_2=\beta$，$r_{be1}=r_{be2}=r_{be}$，R_E为公共的发射极电阻。

当$u_{i1}=u_{i2}=0V$时，电阻R_E的电流等于VT1管和VT2管的发射极电流之和，即：$I_{RE}=I_{EQ1}+I_{EQ2}=2I_{EQ}$

根据基极回路方程，有

$$I_{BQ}\cdot R_B+U_{BEQ}+2I_{EQ}\cdot R_B=U_{EE} \tag{1-1}$$

注：这里默认静态时VT1管和VT2管基极电阻R_B输入端都接地电位。

于是，可以求出基极电流I_{BQ}或发射极电流I_{EQ}，从而解出静态工作点。

通常情况下，R_B阻值很小（很多情况下R_B为信号源内阻），而且I_{BQ}也很小，所以R_B上的电压可忽略不计，发射极电位$U_{EQ}\approx -U_{BEQ}$，因而发射极的静态电流I_{EQ}

$$I_{EQ}\approx\frac{U_{EE}-U_{BEQ}}{2R_E} \tag{1-2}$$

只要合适选择R_E的阻值，并与电源U_{EE}相配合，就可以设置合适的I_{EQ}，由I_{EQ}可得I_{BQ}和U_{CEQ}

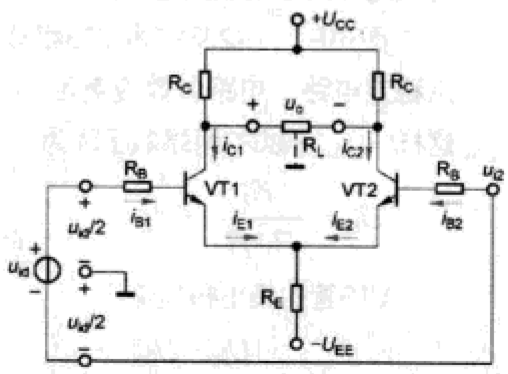
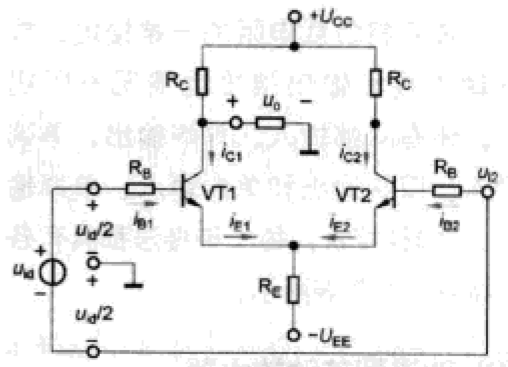
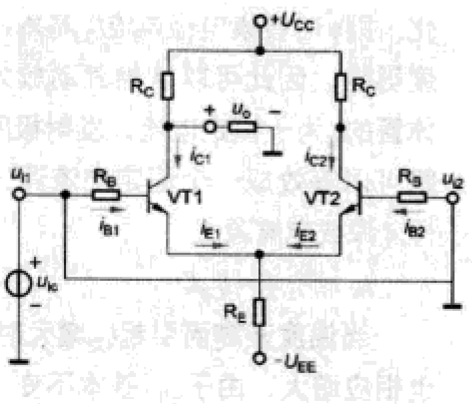
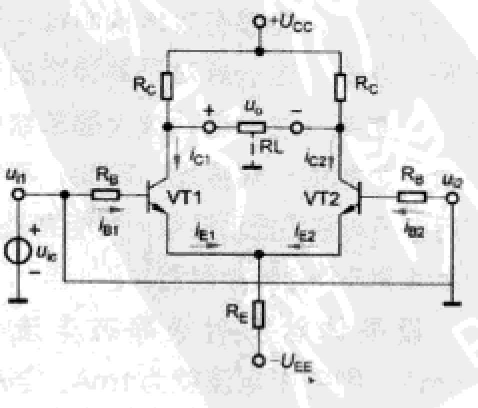
$$I_{BQ}\approx\frac{I_{EQ}}{1+\beta} \tag{1-3}$$

$$U_{CEQ}=U_{CQ}-U_{EQ}\approx U_{CC}-I_{CQ}\cdot R_C+U_{BEQ} \tag{1-4}$$

由于$U_{CQ1}=U_{CQ2}$，所以$u_O=U_{CQ1}-U_{CQ2}=0V$。

设$U_{CC}=15V$，$-U_{EE}=15V$，$R_C=5k\Omega$，$R_E=10k\Omega$，晶体管电流放大系数$\beta=100$，发射结压降$U_{BEQ}=0.6V$，

附表 差动放大器的四种接法的性能特点

	双端输入、双端输出	双端输入、单端输出
电路结构分类		
	单端输入、单端输出	单端输入、双端输出
		

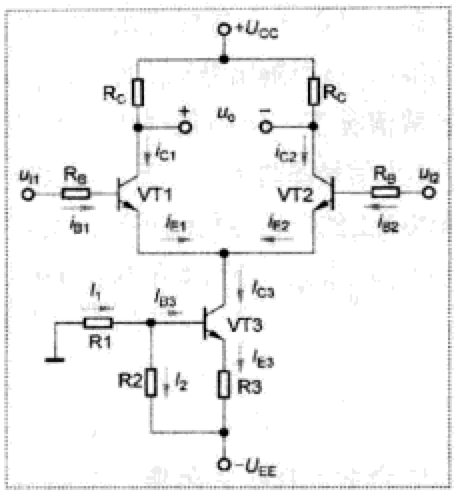


图6 改进型差动放大器

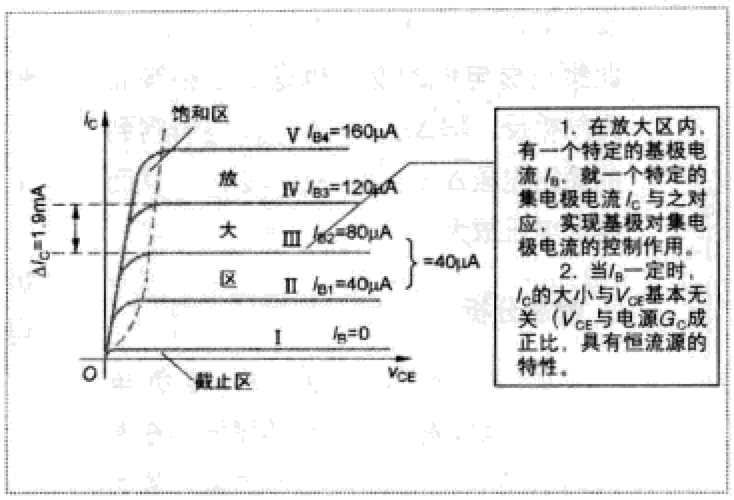


图7 三极管输出特性曲线

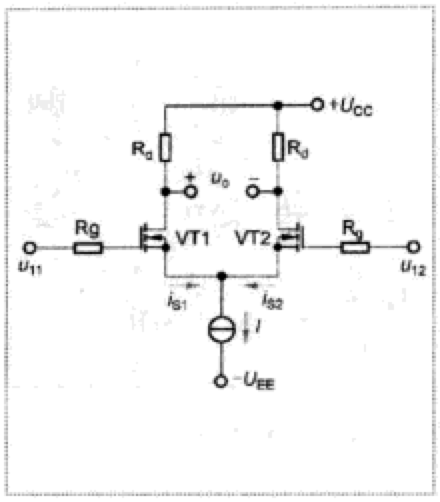


图8 改进型差动放大器（恒流源简化）

忽略R_B的阻值，则

由式（1-2）得

$$I_{EQ} \approx \frac{15V-0.6V}{2\times 10K} = 0.72mA,$$

由式（1-3）得$I_{BQ}\approx 7.2\mu A$，

由式（1-4）得$U_{BEQ}\approx 15V - 0.72mA\times 5k\Omega + 0.6V = 12V$。

差动放大器的4种接法

在图4所示电路中，输入端与输出端均没有接"地"点，称为双端输入、双端输出电路。在实际应用中，为了防止干扰，常将信号源的一端接地，或者将负载电阻的一端接地。根据输入端和输出端接地情况不同组合，还有双端输入、单端输出，单端输入、双端输出和单端输入、单端输出，共4种接法，每一种接法都具有各自特点，如附表所示。

改进型差动放大器

在差动放大电路中，增大发射极电阻R_E的阻值（注：电阻大，共模负反馈作用大），能够有效地抑制每一边电路的温漂，这一点对于单端输出电路尤为重要（注：差动放大器单端输出时，负载的一端接地，因此，不能利用电路对称性抵消温漂，只能靠R_E的负反馈调节作用减小温漂）。

设晶体管发射极静态电流为0.5mA，则R_E中电流就为1mA。当R_E为10kΩ时，电源U_{EE}约为10.6V。在同样的静态电流下，若R_E=50kΩ时，则$U_{EE}\approx 50.6V$，这显然是不现实的。

为了既能采用较低的电源电压，又能有很大的等效电阻R_E，可以考虑采用恒流源电路来取代R_E。大家知道，晶体管工作在放大区时，其集电极电流几乎仅决定于基极电流，而与管压降无关，当基极电流是一个不变的直流电流时，集电极电流就是一个恒定电流（$I_C=\beta\cdot I_B$）。因此，利用工作点稳定电路来取代R_E，就得到如图6所示具有恒流源的差动放大电路。

图中R1、R2及R3和VT3组成工作点稳定电路，电路参数应满足$I_2>>I_{B3}$。这样$I_1\approx I_2$，所以R2两端的压降为

$$U_{R2}\approx \frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot U_{EE} \qquad (1\text{-}5)$$

VT3管的集电极电流

$$I_{C3}\approx I_{E3}=\frac{U_{R2}-U_{BE3}}{R_3} \qquad (1\text{-}6)$$

由此可见，在式（1-5）成立的条件下，式（1-6）表明，忽略U_{BE3}的变化，则VT3管集电极电流I_{C3}基本不受温度影响。因此可以认为差动放大双晶体管的I_C为一恒定电流，发射极所接电路可以等效成一个恒定电流源，简称恒流源或电流源。

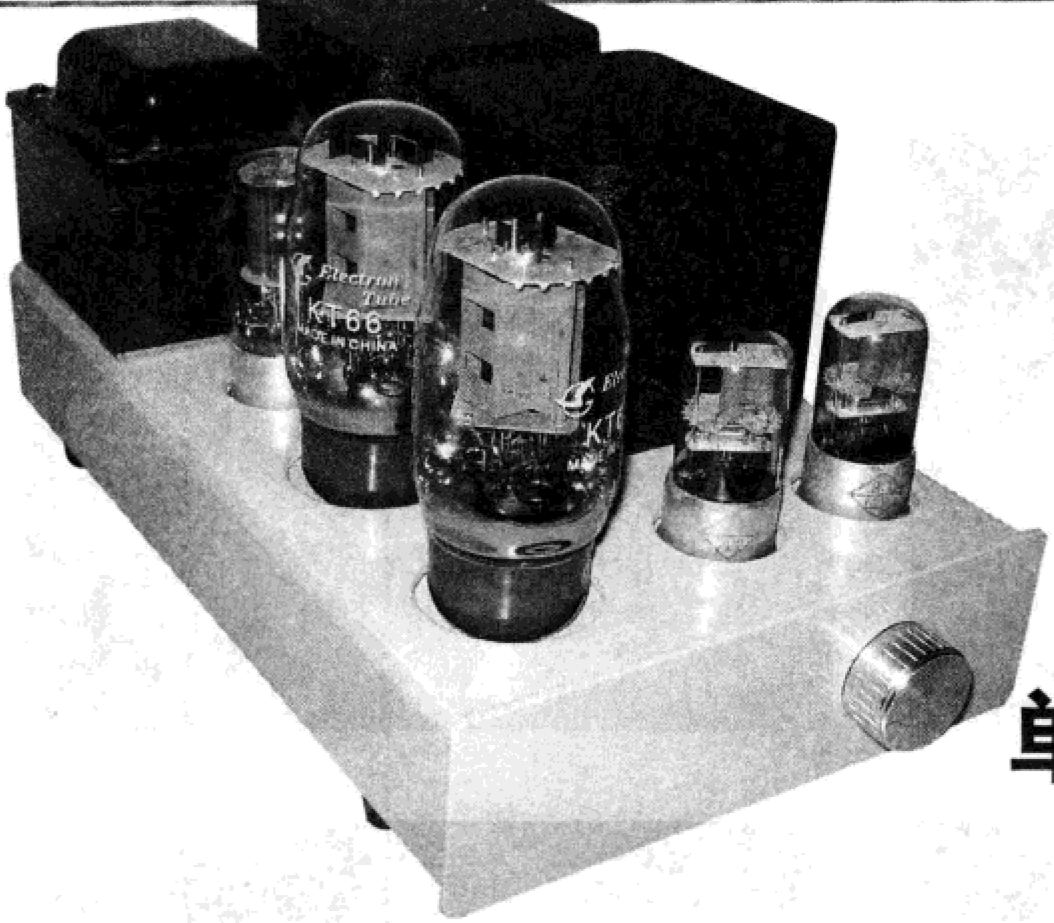
$$I_{EQ1}=I_{EQ2}=I_{C3}/2 \qquad (1\text{-}7)$$

当温度升高而引起I_{C3}增大时，U_{R3}也相应增大，由于U_{R2}基本不变（由式1-5决定），则U_{BE3}就相应减小、I_{BQ3}随之减小，从而抑制了I_{C3}的增大，最终使静态工作点趋于稳定。由以上分析可知，因为R3对I_{C3}变化的抑制作用，使放大器的静态工作点得到稳定，这种抑制作用实质上就是一种负反馈。

当VT3管输出为理想特性时，即当VT3处于输出特性曲线的平行线区域时（见图7），恒流源的内阻为无穷大，即相当于VT1管和VT2管的发射极接了一只阻值为无穷大的电阻，对共模信号的负反馈作用无穷大。

恒流源电路在不高的电源电压下，既为差动放大电路设置了合适的静态工作电流，又大大增强了共模负反馈作用，使电路具有更强的抑制共模信号的能力；对差模信号来说，VT1、VT2的发射极是交流地——因为差模信号大小相等、极性相反，$i_{e1}=-i_{e2}$，所以VT3管集电极交流电流代数和为零。

为了获得高输入电阻的差动放大电路，可以将前面所讲电路中的差（动）放（大）管用场效应管取代，如图8所示。这种电路特别适于做直接耦合多级放大电路的输入级。另外，为了简单起见，在集成电路中恒流源电路常用恒流源电路符号取代，如图8所示，恒流源电路像一个长长的尾巴拖在两只对管下方，故称为恒流源长尾式差分放大器。



◎陈建军

KT66 单端胆机的制作

在胆机发烧友眼中，KT66是一只素质极高的电子管，它是束射四极管，据说它的声音有些“西电”的味道。它有着硕大而漂亮的葫芦外形，似乎包裹了一层神秘色彩，为揭开它的神秘面纱，我买下了6只曙光KT66，开始筹备单端胆机制作。

为了使胆机做得小巧些，电子管和变压器摆位要紧凑，制作前苦思冥想，构思出较为合理的布局（图1）。这种摆位最大优点就是电源变压器远离前级电压放大管，这样可避免电源变压器对前级的干扰，对整机信噪比提高有好处，扼流线圈安装在机壳内，让胆机外观显得整洁不凌乱，考虑周全后确定了上述布局方案。

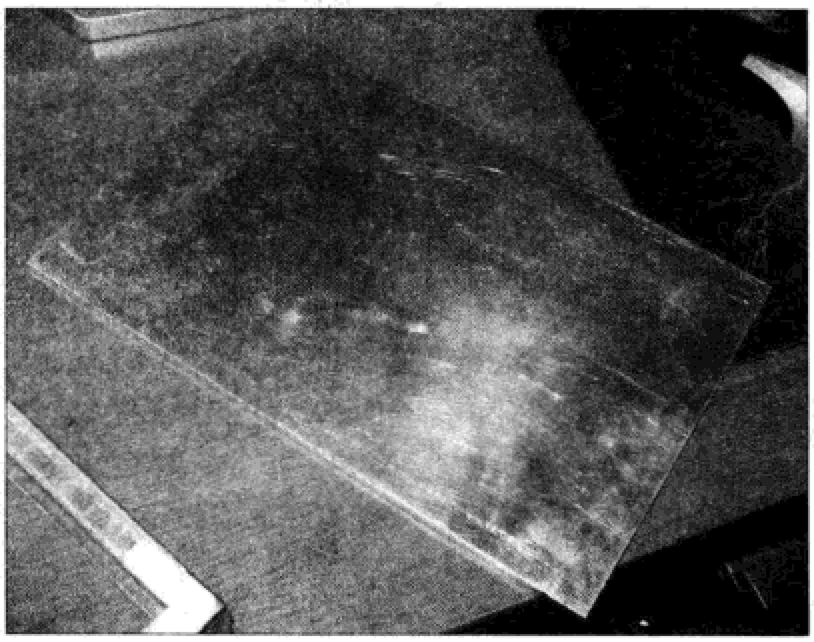


图2

玩胆机很多年了，手上有几个现成的机壳，但这次不打算用现成的，其目的是为了“享受”一下从头到尾的制作乐趣。下面先介绍机壳的制作过程，找到一块符合上述摆位要求的铝板，尺寸为：315mm×185mm（图2）。在建材市场找到一根长为3m、宽为50mm、厚为1.3mm的U形镀锌型材（图3），此材的尺寸完全符合制作机壳的要求，强度够，价格也不贵，每根十几元。

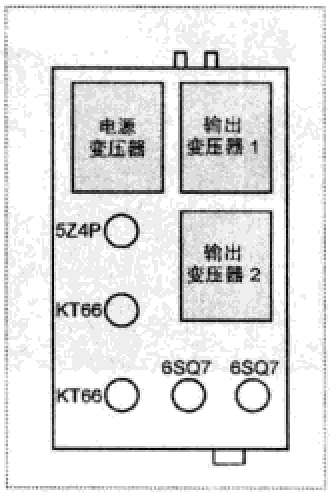


图1

在建材市场找位能干钣金活儿的师傅，谈好价格后按尺寸要求开始加工。先按尺寸切割，把切割的型材两端磨成45°角，将需要焊接处的镀锌层磨掉再焊接。焊接完后把焊接部位的焊瘤打磨平整（图4），这次共做了3个机壳框，其他两个是为后续的“折腾”制作做准备的，一根型材可以做六七个这样的机壳框，细算下来还是比较划算的，100元手工费加工3个这样的机壳框，这回省下不少银子，心里暗暗得意。

机壳框架做完后，后面的活儿该自己干了，铝板上的开孔所需要的工具有曲线锯、手电钻、直径45mm、35mm、26mm的开孔器，电源变压器采取的是卧式安装，窗口开孔尺寸为65mm×55mm。此方孔用曲线锯来开孔，板面的KT66圆孔直径为42mm，前级管子和整流管的圆孔直径为

图3

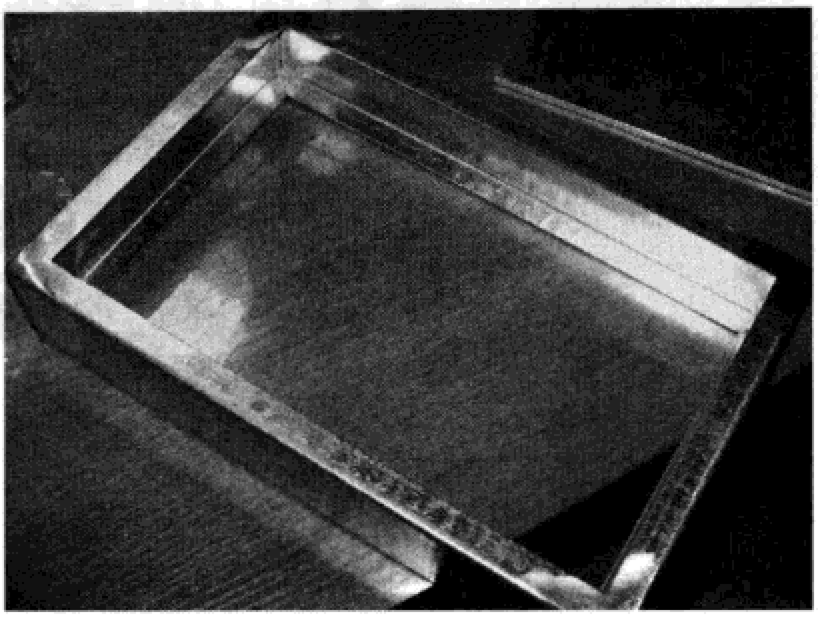


图4

图5

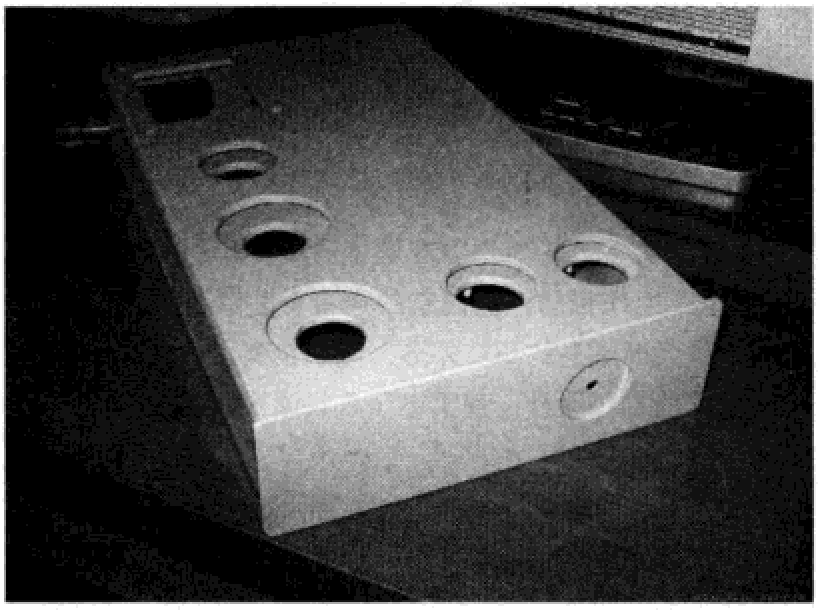


图6

35mm，衬板用来固定电子管座，开孔直径为 26mm。开大圆孔时确定好开孔位置，先打直径 3mm 的定位孔，再用开孔器来开孔，用此方法开圆孔定位准确不易跑偏。所有的孔开完后，用直径 3mm 平机螺丝把铝板与框架固定起来。为了让机壳表面平整、美观，无螺丝机显现，在铝板上面打平机螺丝沉孔后，再与框架固定。固定电子管座的衬板方法同上，沉孔用原子灰填平，待干透后用水砂纸蘸水，磨平原子灰填补处使之表面平整，用手触摸板面无凸凹之感就行了（图 5)。

下一步该喷漆了，先把机壳表面清理干净，无微小颗粒。我用的是自喷漆，选好喜欢的油漆颜色，一定要选择品质较好的自喷漆，这样的漆颗粒细腻，喷完后表面平整。喷漆时要注意喷嘴不要离机壳太近，避免出现油漆流痕，共喷了4遍。由于没有烘干设备，自然干透大概需要10天时间。喷完漆的效果感觉还不错，制作精良的机壳完工了。用上述的制作方法具有取材容易、制作方法简单、材料价格便宜等优点，通过后期精心制作，完全能制作出属于自己的精品胆机机壳（图6）。

油漆干透后开始组装，电源变压器为卧式安装，输出变压器 1、2 为立式安装，先安装电源变压器再安装输出变压器。输出变压器 1 线包方向要对着电源变压器。由于电源变压器与输出变压器 1 距离很近，在安装输出变压器 1 时一定要测试一下，避免出现磁耦合，能否做好这台胆机，这可是关键的第一步，切记。测试方法是给电源变压器通上 220V 市电，在输出变压器的输出端子上接一个扬声器，把扬声器贴在耳朵边，一点一点地挪动输出变压器 1，找到最小噪声位置后固定输出变压器 1，输出变压器 2 测试方法同上。上述测试步骤很重要，否则变压器磁耦合的干扰噪声后期无法处理掉。

近些年国外名管已被炒得价格不菲，南京制造的电子管已成为发烧友的焊机用胆，或为收藏品，其原因就是音色靓。这次制作前级电压放大管选南京6SQ7，电路架构采取6SQ7一级推动KT66，功率放大部分功率管采取标准接法，这样可以获取较大的音频动态和功率（图7）。由于现代音

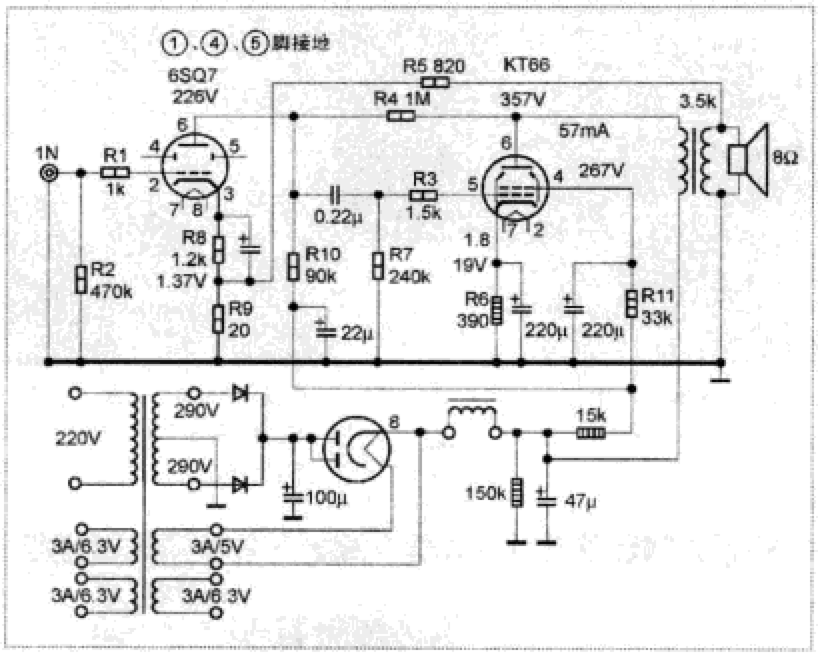


图7

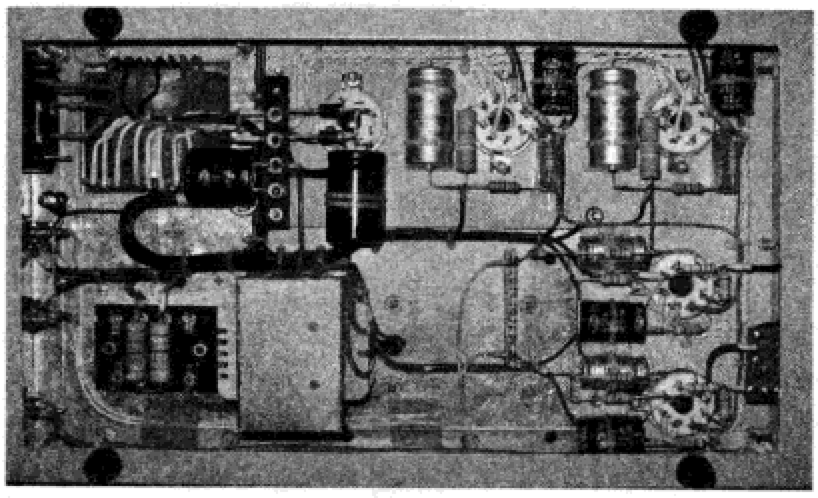


图8

源模拟输出电平都比较高，一般为1~3V，为了降低信号输入幅度，减少前级放大失真，在前级输入端串入了一只1kΩ电阻。电源部分采用晶体管整流加胆缓冲的方式来提高电源效率，5Z4P为旁热式整流管，在高电压启动时对功率管KT66有延时缓冲保护作用，可延长电子管的使用寿命。电路中加入了负反馈R5和屏极反馈R4方式，R5负反馈有利于抑制噪声，降低大动态时的瞬态失真，R4屏极反馈对抑制噪声有帮助，但如果R4阻值过小，会降低输入阻抗对放大器低频响应造成影响。电源变压器的功率为200W，交流电压输出290~0~290V，电流为200mA，输出变压器的输出功率为13W，扼流线圈的电感量为5mH，电流为300mA。电路中的阴极旁路电容和退耦电容尽量选用音频专用电容，耦合电容选用红威马MPK-10系列0.22μF音频电容。这种电容价格便宜又有好声，音量电位器用ALPS双联100kΩ原装电位器。电阻过信号部位使用碳膜电阻，其他电阻选用耐高温的金属膜电阻，这样对提高音质有所帮助。

单端胆机虽然元件不多，容易制作，但搭棚焊接技术可算一门DIY艺术了，它能体现出制作经验和手上功夫的水平。制作时元件排列要合理，布线有序，条理清晰，看到眼里要有赏心悦目之感（见图8）。焊接电容、电阻时，先将电容固定好位置，再利用电容引脚和电子管管座脚来搭棚焊接电阻。布线方式：把灯丝线、电源线和接地线三部分分开布置，这样可降低线路磁场分布的相互干扰。除引入信号使用屏蔽线外，其他元件在布线时不必再使用屏蔽线。减少了制作麻烦，接地方式采用一点接地使线路工作更稳定。

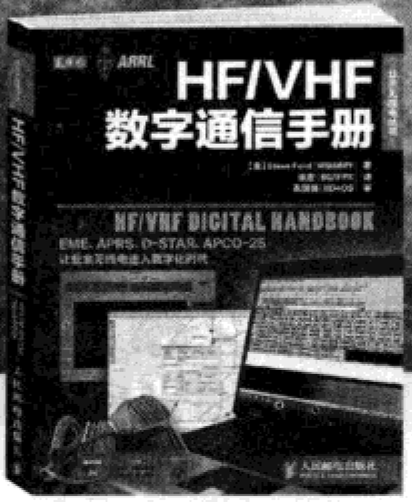
所有的元件安装完毕，检查元件焊接无误，再对照电路图检查一遍后开始通电，电子管的灯丝被缓缓点亮。检查前、后级各部分工作电压基本正常，稍微调整后开始送入信号，此时调试用的音箱发出美妙声音，声音真的很令人兴奋！我按住自个儿的兴奋心情，继续细微地调整，让胆机工作一些时间，等各工作点稳定正常，没有噪声感觉，再利用负反馈和屏极反馈，使得噪声变得更低，到了深夜，把耳朵贴在音箱的扬声器上，才能听到很轻微的噪声。成功的喜悦令人彻夜难眠，这就是DIY制作过程中的“乐趣”。

调试完毕后接上10英寸落地音箱，KT66的声音果真不一般，虽然是一级推动，但声音动态毫不软脚，声场极具稳定。放一首能让人流口水的甜歌，龚玥的《长城长》人声口齿清晰，低频弹性十足，感觉很舒服，歌曲间奏部分，竹笛演绎出特有的高频泛音，说明高音延伸也不错，小提琴“沉思”琴弦上的华丽质感，特有的多琴效应一一显现。由于是新做的胆机，声音略有点发紧，相信工作一段时间后，会渐渐步入佳境，到时候美妙而富有磁性的声音会在家里余音缭绕。

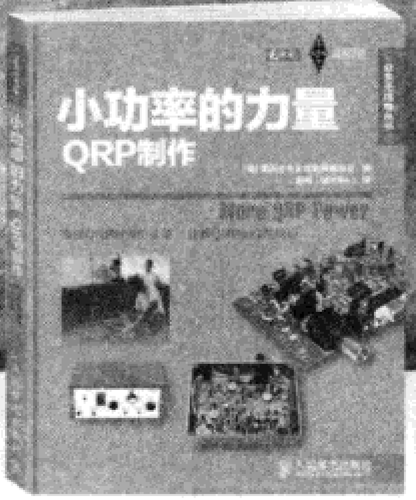
我的DIY成长经历

2002年开始热衷于制作胆机，我的爱好是深受父亲的影响，父亲是个电子爱好者，经常摆弄和拆卸电子管收音机，小时候我经常在一旁好奇地观看。父亲曾制作了一台电子管5波段落地收音机，那可真是个大家伙，还带有电唱机播放功能，用它收听短波、流行音乐，那音色别提有多美了，尤其是低音效果，非常震撼。整机很重，需要4个人才能抬动，这在当时引来不少爱好者的关注。父亲的一些电子管书籍和早期的《无线电》杂志是我自学的启蒙教材，后来在网络上结识了一些DIY胆机前辈，通过和他们交流、学习，我制作出自己的第一台胆机，那喜悦和成就感难以言表，从此一发不可收拾。通过十几台的胆机的制作，我的制作水平已有了很大的提高，现在DIY胆机已是我业余生活中不可缺少的一部分。

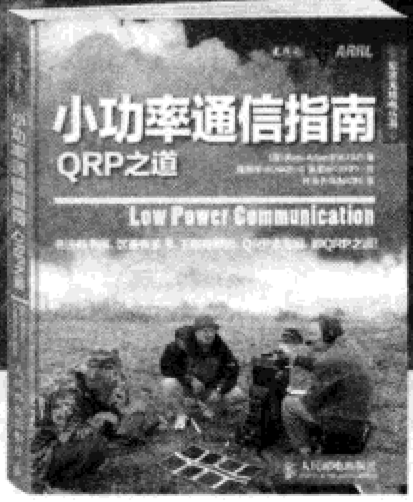
为爱好者和专业人士奉献的精品读物



页码：418页　开本：16开
ISBN：978-7-115-23885-6
定价：80元



页码：282页　开本：16开
ISBN：978-7-115-22934-2
定价：55元



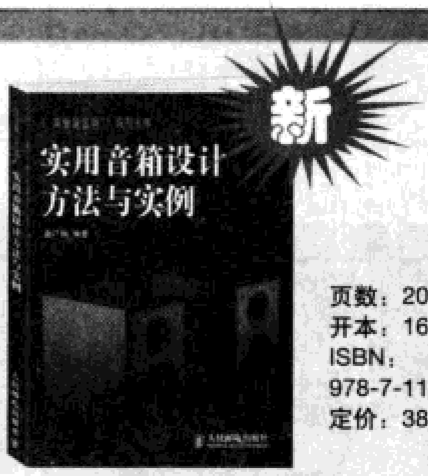
页码：264页　开本：16开
ISBN：978-7-115-23131-4
定价：55元

图书推荐

无线电爱好者必备工具书

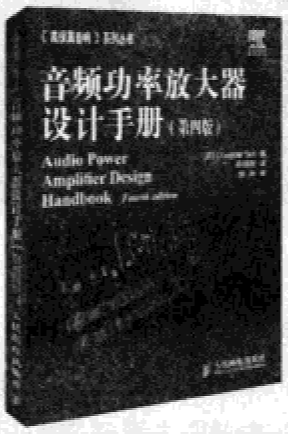
页数：1145
开本：大16开
ISBN：978-7-115-22276-3
定价：240元

页数：450
开本：16开
ISBN：
978-7-115-22295-4
定价：80元

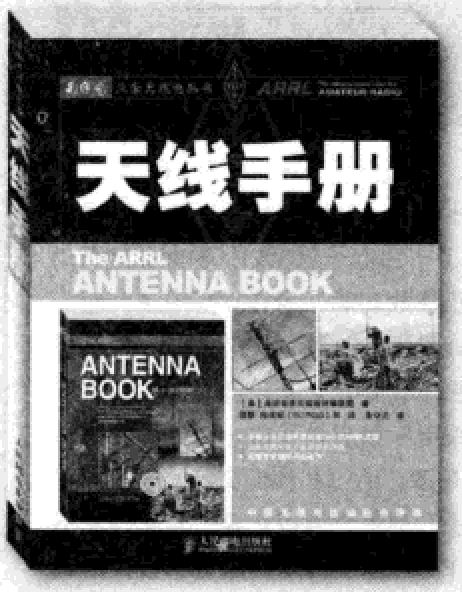


页数：206
开本：16开
ISBN：
978-7-115-23977-8
定价：38元

页数：150
开本：大16开
ISBN：
978-7-115-17865-7
定价：36元



页数：473
开本：16开
ISBN：
978-7-115-21385-3
定价：80元



页数：824
开本：大16开
ISBN：978-7-115-20831-6
定价：150元

页数：217
开本：大16开
ISBN：
978-7-115-20544-5
定价：45元

页数：348
开本：16开
ISBN：
978-7-115-22257-2
定价：49元
（部分彩印，附赠光盘）

页数：284
开本：大16开
ISBN：
978-7-115-20517-9
定价：45元

购买方式
全国各大书店
网上书城
均有销售

网店推荐
互动出版：http://www.china-pub.com
卓越亚马逊：http://www.amazon.cn
当当：http://book.dangdang.com

2×100W甲乙类胆石组合功放的制作

◎余峰

DIY音频功放在音响圈内是个很古老的话题，从电子管诞生之日起就一直没有中断过，很多电路图和制作手法对音响DIYer来说已经没有太多的悬念。为了追求“真音”，不少发烧友不惜血本地制作各种风格的音频功率放大器，但是光有优良的电路图，没有科学的制作工艺和质量可靠的元器件做保证，想取得成功绝非易事。本文介绍的这款DIY功放的制作重点是在灵活性、实用性及可靠性上。

电路特点

电压放大部分采用了简单、无需调试且放大特性曲线极佳的著名SRPP电路（图1），电子管采用北京牌军用级6N11-J，用电子管做电压放大，声音温顺、华丽、高贵，价格便宜，音质非一般晶体管所能比拟。阻抗转换部分采用了由场效应管2SK214/J77组成的射极输出电路，以场效应管高

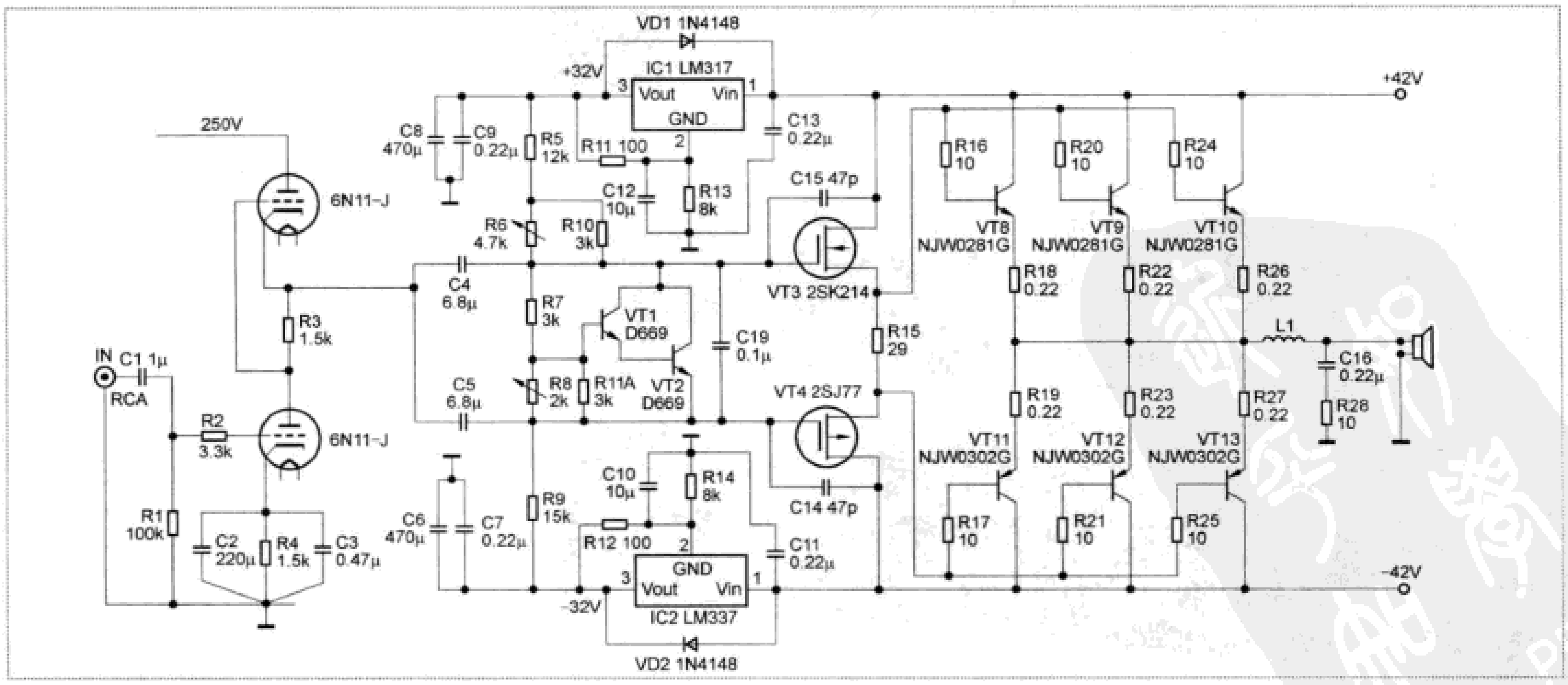


图1（a）功放电路图

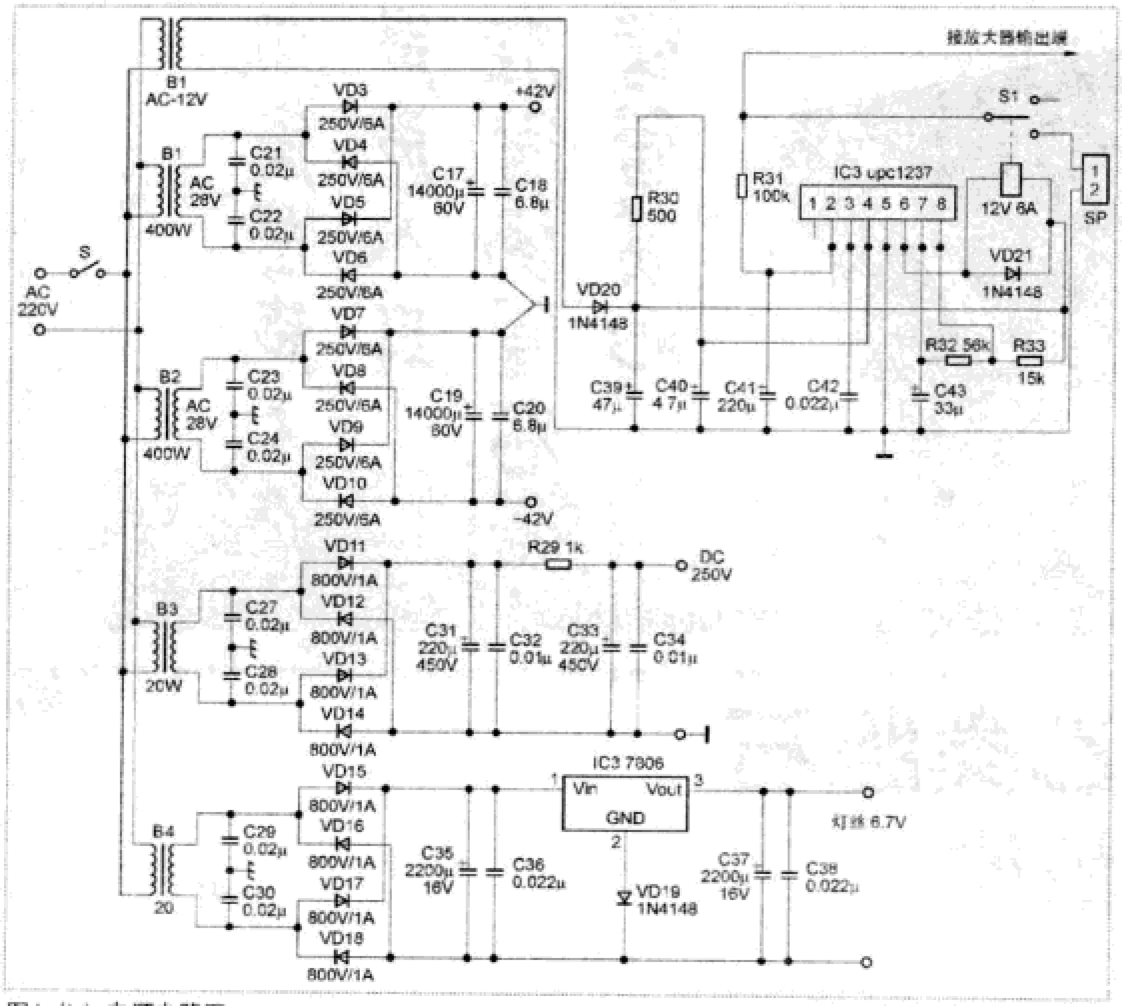
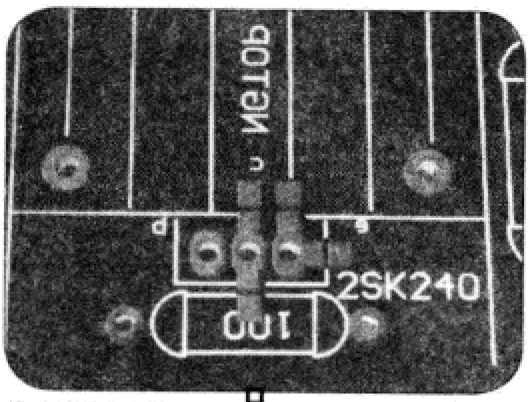


图1（b）电源电路图



推动管兼容焊盘

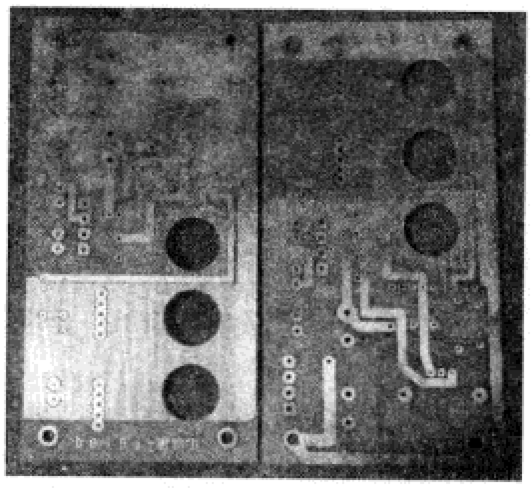


图2SRPP电压放大PCB

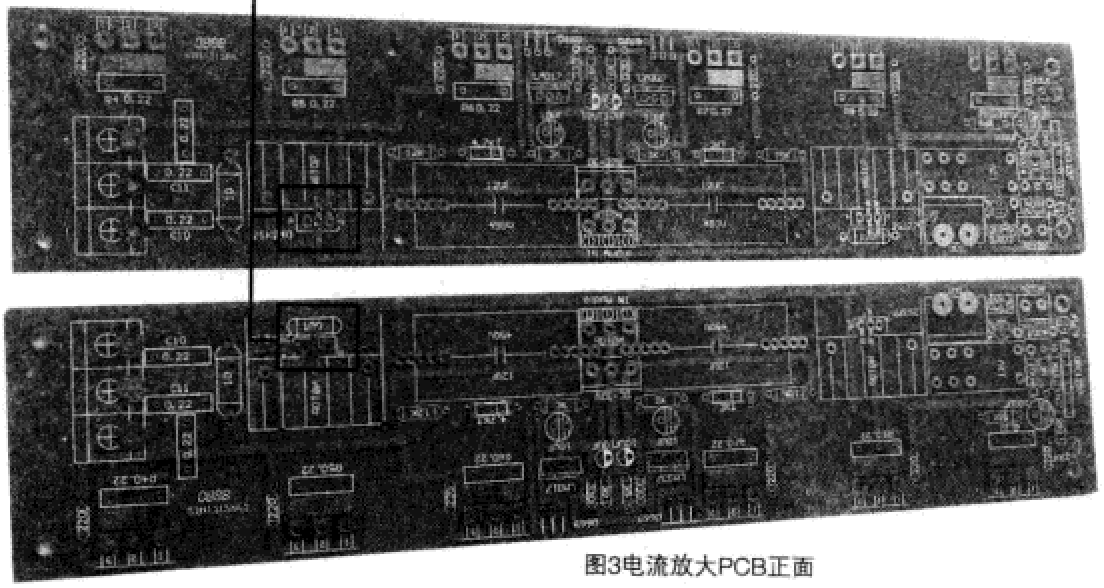


图3电流放大PCB正面

的输入阻抗完成电子管和晶体管的阻抗匹配。电流输出级采用无大环路负反馈电路，每声道采用3对安森美NJW0281G/NJW0302G功率对管，此管特性是不论大电流还是小电流都不走调，多管并联可以随心所欲地驾驭好自己的扬声器单元，而无大环路负反馈电路的输出，犹如脱缰的骏马无拘无束地驰骋在广阔的音乐世界。

制作风格

本文介绍的放大器的电压放大（图 2）和电流放大部分（图 3、图 4）采用了分体式独立的结构，推动管和功率管用焊点连接，可调电位器用 10 只 1/8W 电阻组成的可调式电阻阵替代，推动级使用独立散热器，脱离主散热器。

元件选择要点

由于本功放采用分体及无大环路负反馈电路设计，所以电压级和电流级可以分别安装、单独调试且成功率非常高。电压放大部分由于受机箱物理空间限制，电子管采用带转接板卧式安装结构。左右声道的电源分别采用两个优质的20W的E型变压器，以增强左右声道的隔离度。交流9V电压整流、滤波后经LM7806稳压后提供6V灯丝电压。交流180V电压整流和滤波后得到约250V的平滑直流电压。电容C2对电压放大级音质的影响较大，基本上是什么样的器件就发什么样的声。本机采用的是日本尼康220μF/25VKZ系列MUS顶级音响电容，电子管6N11-J最好能配对使用。

电流放大部分和扬声器保护电路做在同一张PCB上（图5），2个6.8μF/450V输入耦合电容采用英国ARCOTRONICSMKP电容，当然也可以用其他质量更好的MKP电容，但直流耐压须大于450V以保证后级电路的安全。温控管采用2只VD669，

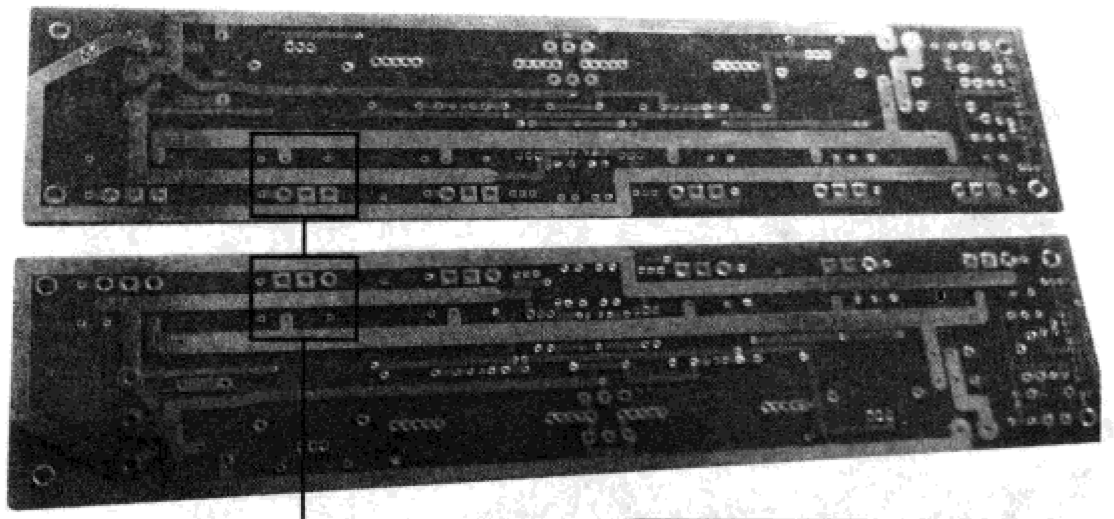
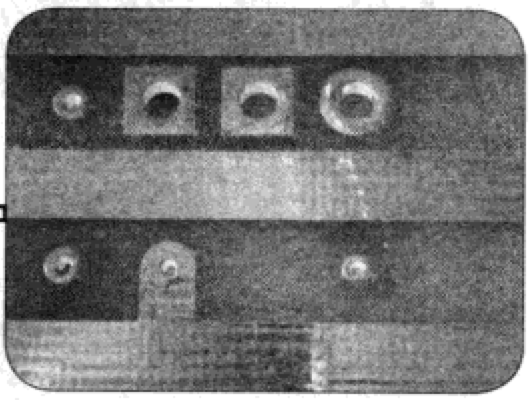
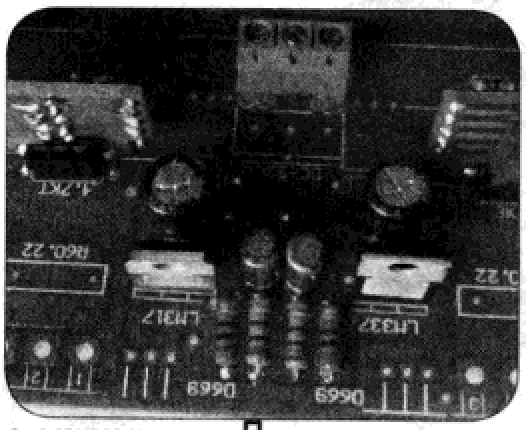


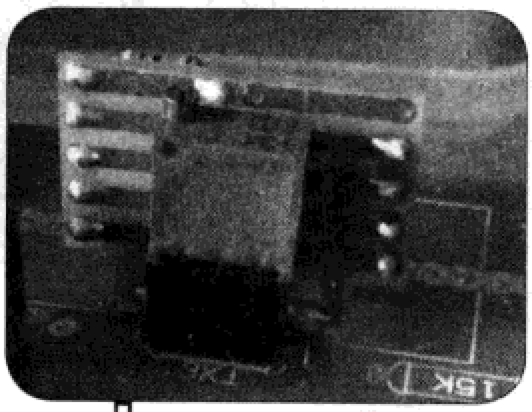
图4 电流放大PCB反面



功率管兼容焊盘



电流推动管偏置
稳压电局部图



组合可调电位器

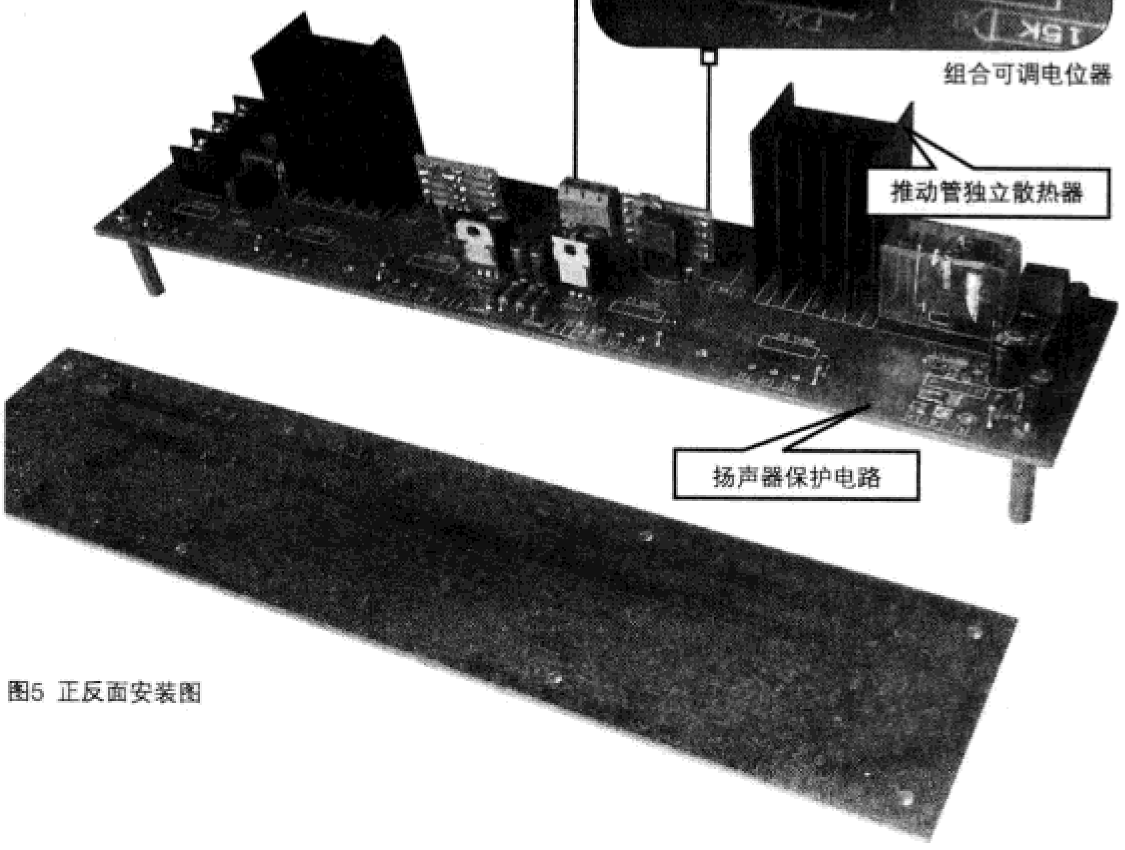
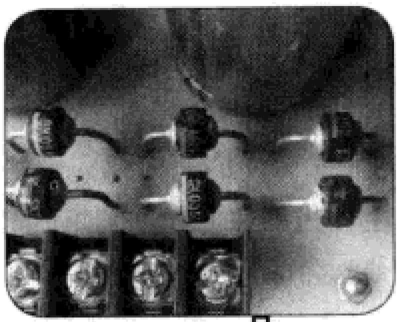


图5 正反面安装图

分别靠近上、下功率对管安装，以方便控制四片散热器的功放机箱。推动管散热器因工作电流较大，故采用30mm×25mm×45mm的铝散热器。主变压器采用2个400W的环型变压器，为降低电源内阻电压采用两组四线28V/6A绕组，整流管用快速恢复的肖特基安森美6A大车轮管。为避免因滤波容量过大而引起低频前紧、后软的现象，主滤波电容采用4个英国nover14000μF/50V的金色大水塘（实际安装了2个），同时并上德国6.8μF/100VERO薄膜电容，以降低中高频电源内阻（图6）。可调电阻采用单独制作的小型PCB，此方法做成的电位器，抗震、防氧化、可靠性高，由500Ω、300Ω、200Ω、100Ω、50Ω、30Ω、20Ω、10Ω、5Ω及X阻值等10只1/8W电阻组成可调电阻。根据具体需求选择x值电阻的阻值并焊接相应的短路焊盘即可组合成任意阻值的电阻。PCB的地线、电源线、输出线可用1.5mm的铜线附和走线堆焊，以提高过电流能力。所有电阻均采用1/2W金属膜电阻。输出保护继电器采用正品欧姆龙（OMRON）G2R-212V继电器。

调试过程

所有元件焊接完毕后应认真仔细检查有无错误，然后在电流放大PCB上安装散热器，如果机箱高度较低，也可以侧卧安装在机箱底板上。将电流放大PCB上的临时调中点电位器R6和调末级电流电位器R8分别调到中间和最大位置，通电主变压器A和整流板A测试空载电压为±42V,断电后将电源整流板±42V用专用音箱线分别连接至电流放大PCB上，并接上输出保护工作电源AC12V。开启电源后迅速用手摸功率管温度，如果温度上升过快，需立即关电检查，如果温度微温，则可进行下一步操作。调整电位器R6，使输出



安森美大车轮整流管

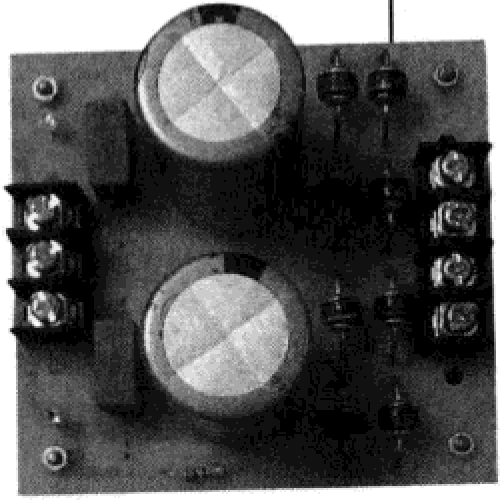


图6 电源整流板

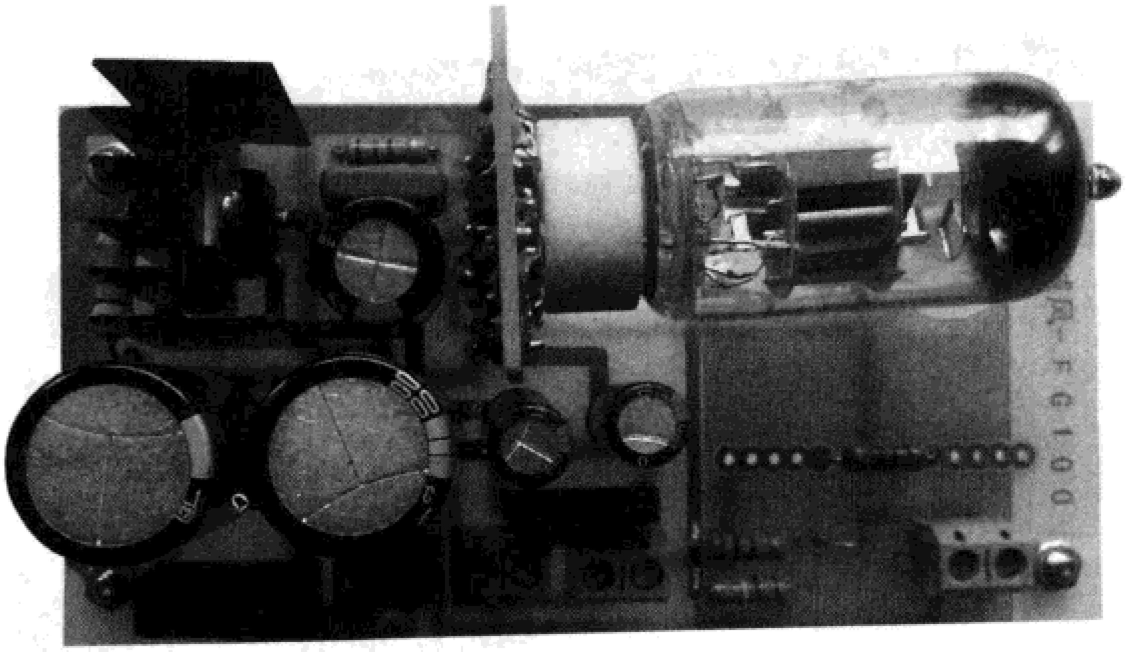
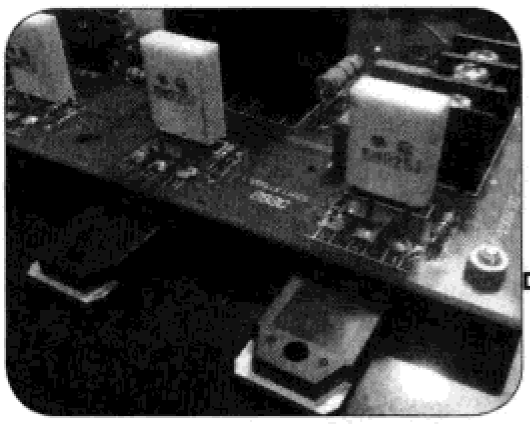


图7 电子管SRPP电压放大板



安森美功率对管

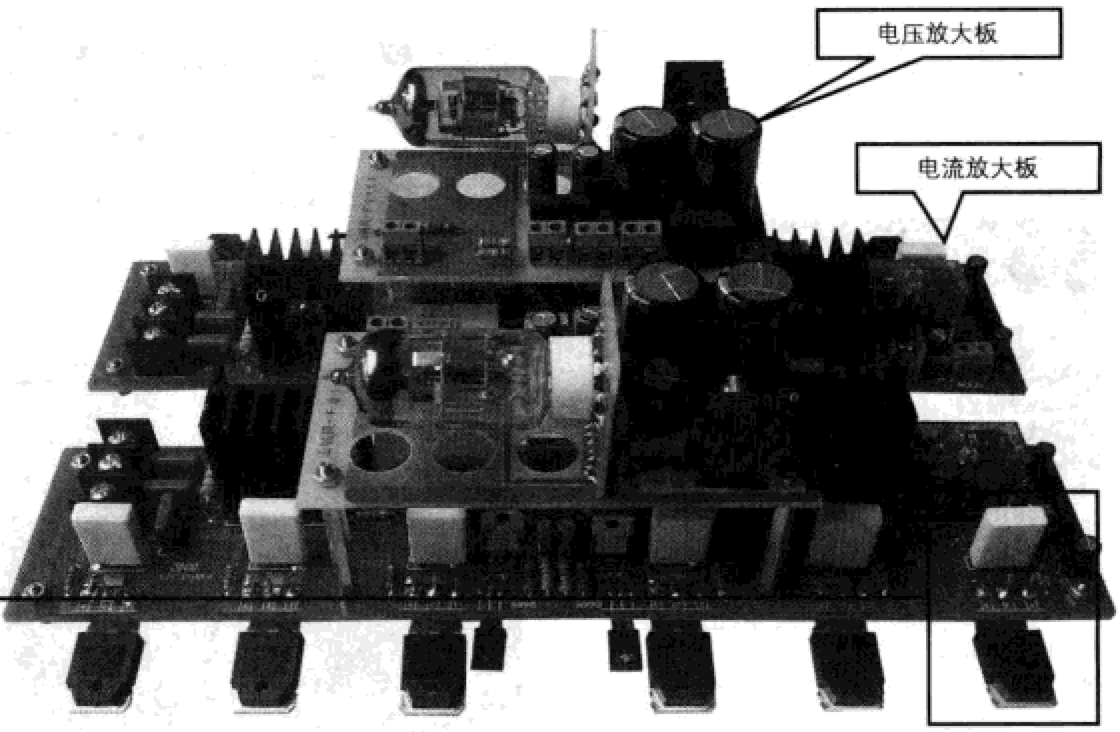


图8 组合功放侧视图

中点电位为0V，此过程中应听见保护继电器吸合声音，否则需检查输出保护电路。用电压表测量功放管射极电阻0.22Ω两端电压，调整电位器R8，使其0.22Ω两端电压为60mV，此时的单管静态电流约270mA，散热器温度在54℃左右，过8分钟后，待散热器热平衡后，再测量功放管射极电阻0.22Ω两端电压，此时0.22Ω两端的电压值受温控管的影响会变小，再次调整电位器R8，使0.22Ω两端电压为第一次测试电压和第二次测试电压的平均值，过8分钟后测量功放管射极电阻0.22Ω两端电压，调整温控管和功率管之间的距离，以改变热传导系数，使其功放管射极电阻0.22Ω两端的电压恢复至预定的60mV为止。再次调整中点电位器R6，使其中点电位为0V，等10分钟后观察中点电位和射极电阻0.22Ω两端电压及散热器温度。若变化很小，则调试完成，然后关闭功放电源并拔出临时中点调整电位器R6和末级电流电位器R8，用万能表分别测量两个电位器的阻值，根据测量后的阻值焊接可调电阻PCB上响应的短路焊盘，使其为测量阻值即可（图5）。

然后再装上电子管（图7），电子管电压放大部分一般不用调试就能正常工作。需要注意的是，功放开机过程中胆管输出端耦合电容C6有一个直流充电过程,保护继电器的延时时间需要设置为约30秒钟为妥。如果信号前级输出端有耦合电容，则可以取消胆管输入耦合电容，以增强声音的透明度。

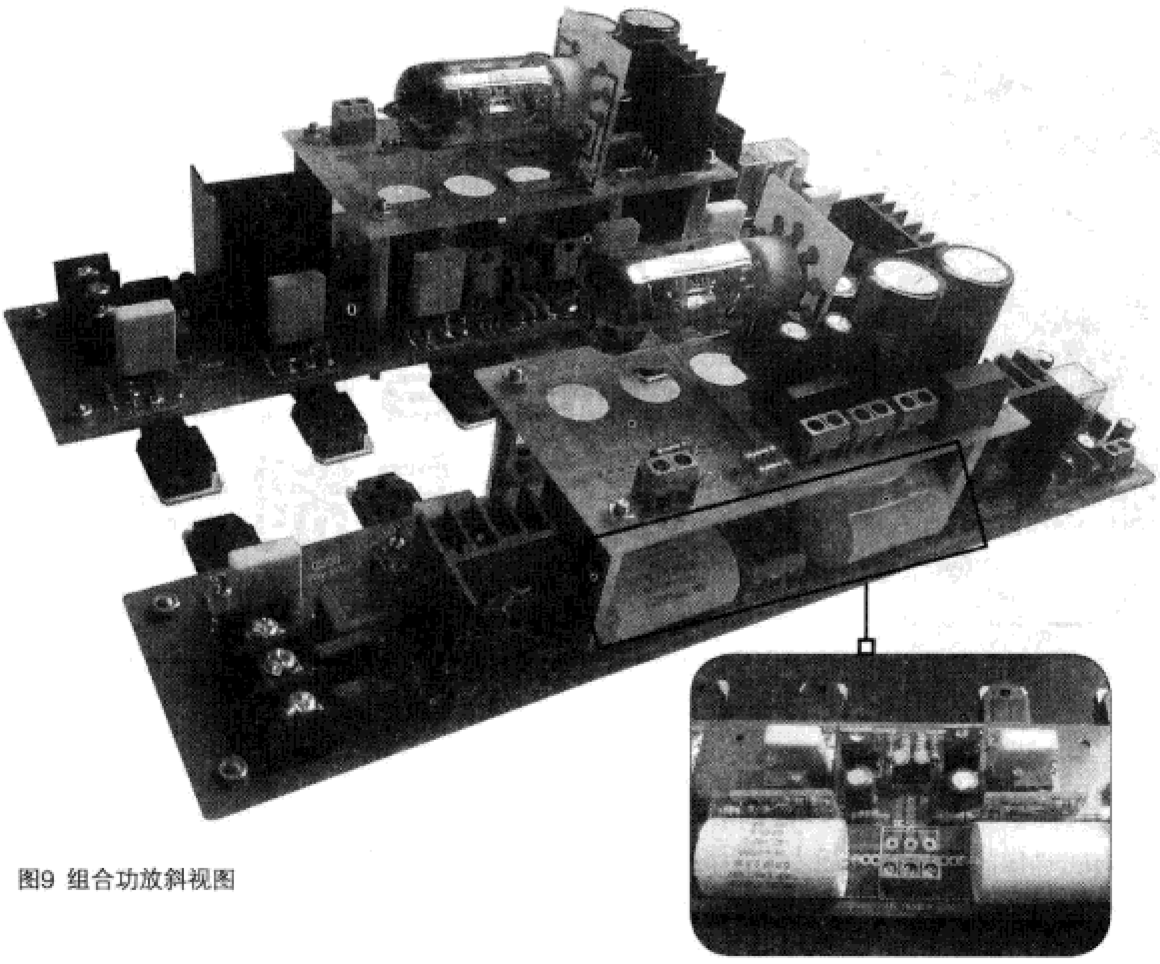


图9 组合功放斜视图

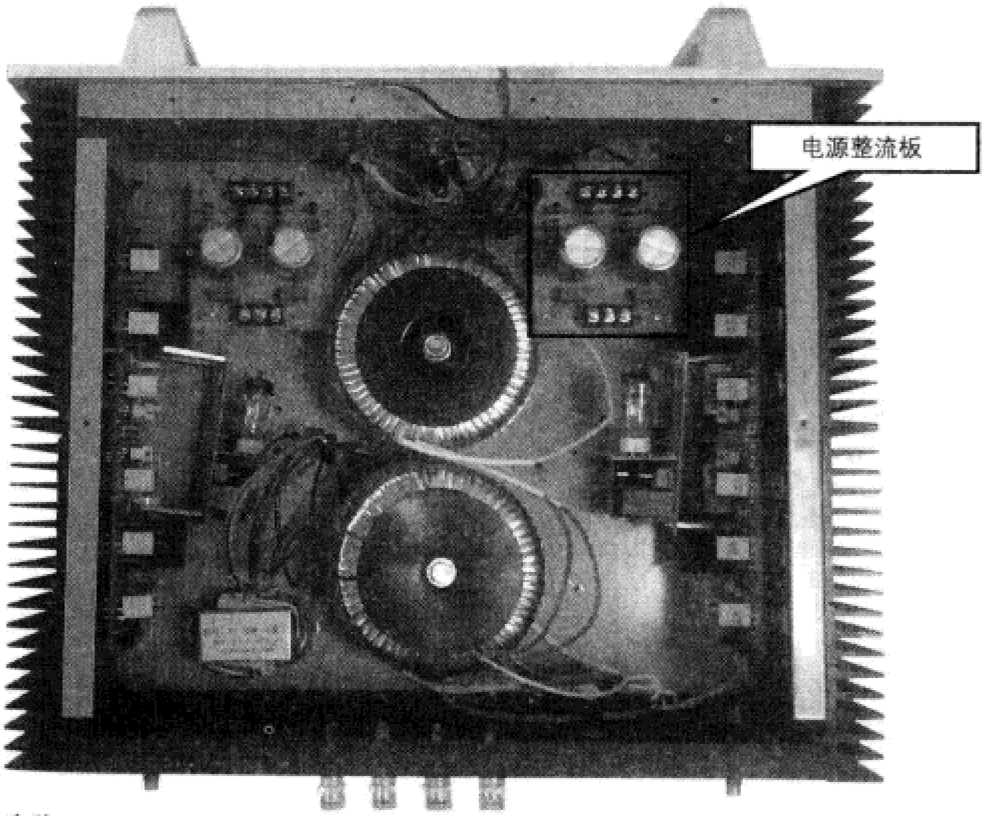


图10 功放安装

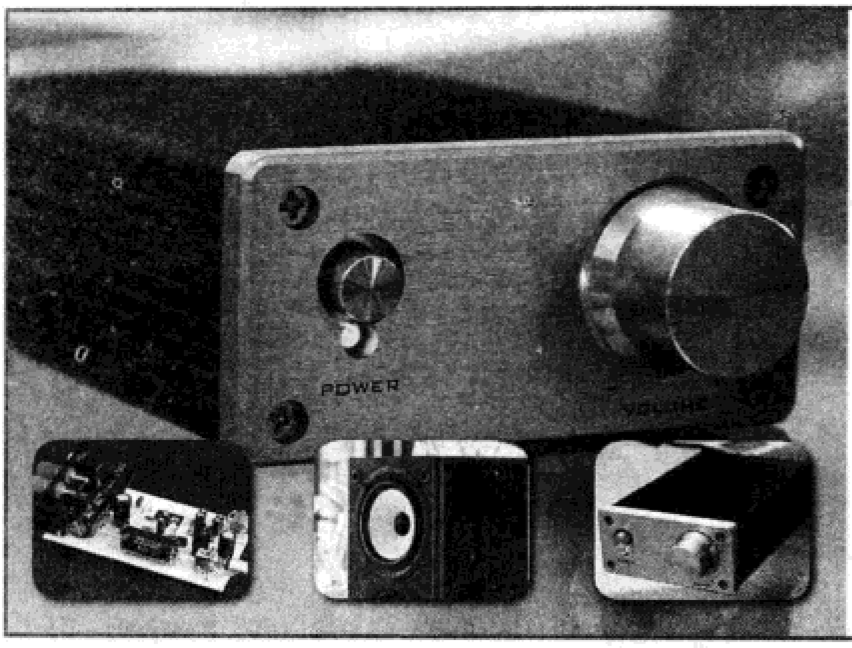
装机总结

一款性能优异的放大器，电路不同功能部分的器件合理选用搭配尤其重要，要尽量发挥不同器件之间的长处和不同线路之间的优点，此机胆管场管和石管的完美结合是其音质优异的秘诀。电源变压器容量大小显著影响功放低音的量能感，静态和动态电压变化不能大于百分之一，大水塘的容量不宜过大，除非变压器储备功率容量偏小，换用不同品牌的大水塘进行校音，效果非常明显，推动管VT3/VT4（2SK214/2SJ77）的静态电流要根据工作电压进行电流调整，而且独立散热器的功率要足够，42V电压工作时，电流调在100mA左右比较好声，此时散热器的温度约为68℃。电流低于40mA时可以去掉47pF消振电容，反应速度有所提高但音色和力度没有大电流好听（图8、图9）。

功放管的温度控制电路实际上可以看成是一个恒温控制电路，而散热器温度恒定的背后是功率管电流的变化，由于散热器体积比较大，等效于一个大容量的热容器，因此电流对散热器温度的控制是有滞后性的，散热器体积越大越明显，因此功率管的工作区域是不稳定的，即温度恒定的代价是功率管的工作区域处于飘浮状态！所以甲类功放的设计应该是有多大的散热器件做多大功率的放大器，甲类功放需要控制的是功放管的电流而不是散热器温度，而温度的控制是靠散热器的大小和热保护电路来限制的，本机箱自带散热器也就能最大支持20W左右的纯甲类，大功放板配小散热器，功率管冷、热态电流相差较大，容易烧管。

采用电压和电流分体制作可有效提高信噪比而且调试方便安全、灵活，本机将APE播放器处于暂停状态时，音量电位器开至1/3位置时，用耳朵贴近扬声器，听不到一点噪声，室温32℃环境下连续开机4个多小时，中点电位一直稳定在0.3mV左右（图10）。

从本机以近 2000 元的制作成本所取得的实际效果来看，非常超值，整体定位十分准确具有良好的音乐感染力，高频自然、细腻、滑顺、空气感好，中频厚实饱满、亲切甜美，无环路反馈的低音，气势磅礴，松紧有度，令人称道，听过后令人难以忘怀，可谓是一款非常值得拥有的好机。



Mini 桌面音响的设计与制作

◎Youngstone

相信很多朋友都会拥有一套小的桌面音响，用来搭配电脑作为闲暇时听听音乐。桌面音响体积小，功率不大，耗电量低，重放效果基本满足一般性欣赏要求，因此以极高的性价比被人们所青睐，本文将通过一套桌面音响的制作介绍业余条件下DIY的方法，希望能给广大爱好者提供参考和启发。

方案及选材

Mini音响，顾名思义，就是以小而著称，主要表现在体积和功率两方面，市场上销售的多媒体音响，大部分是把功放模块嵌入在音箱内部，这样的设计主要是为降低成本。而对于我们的DIY而言，则应重点从制作难易度、个人的外观取向等方面着手。在这里，笔者使用了功放和音箱分离设计的方案，整个系统的结构框架如图1所示，其中功放和音箱就是我们要制作的部分。

家庭日常听音乐，具有5W以上的

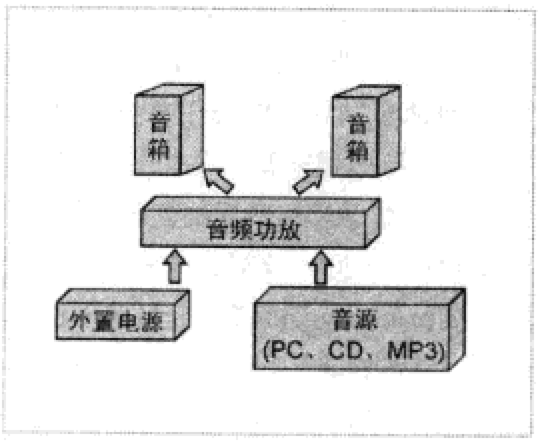


图1 系统框架图

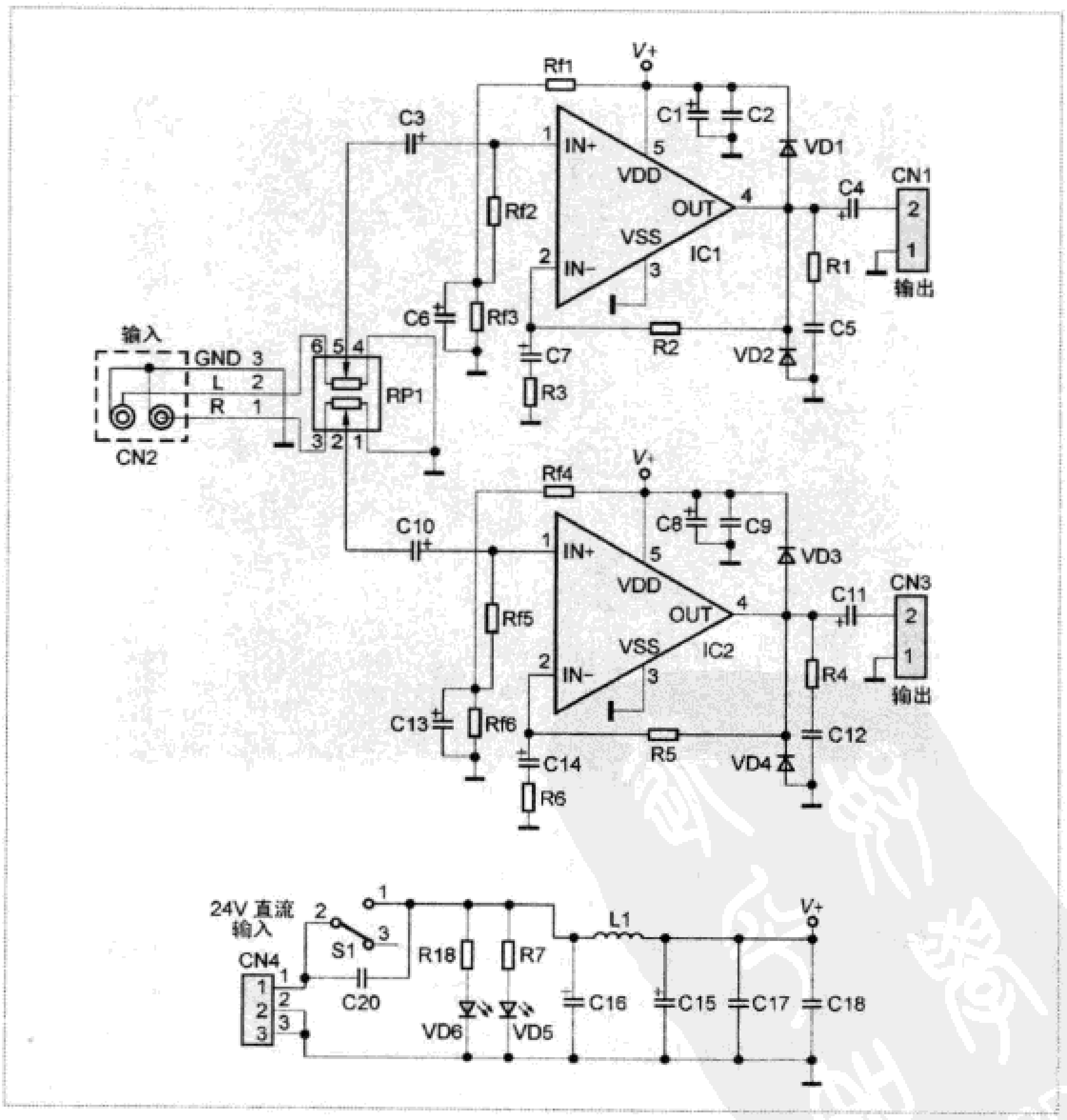


图2 功放电路原理图

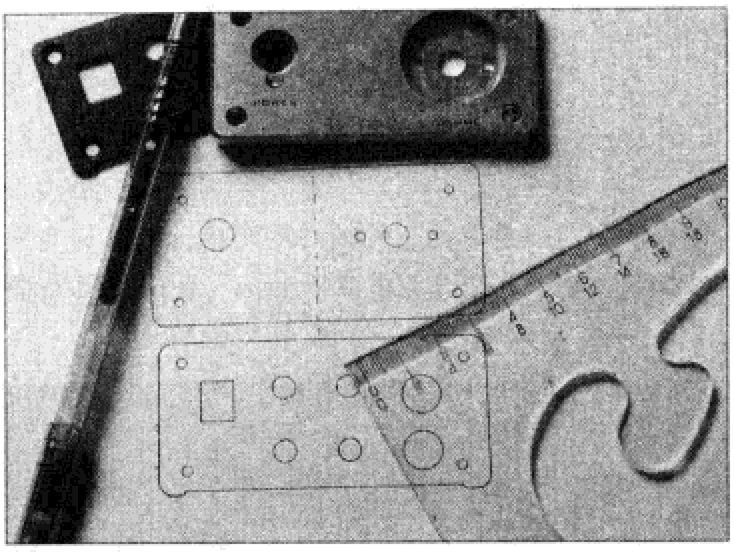


图3 结构尺寸测量

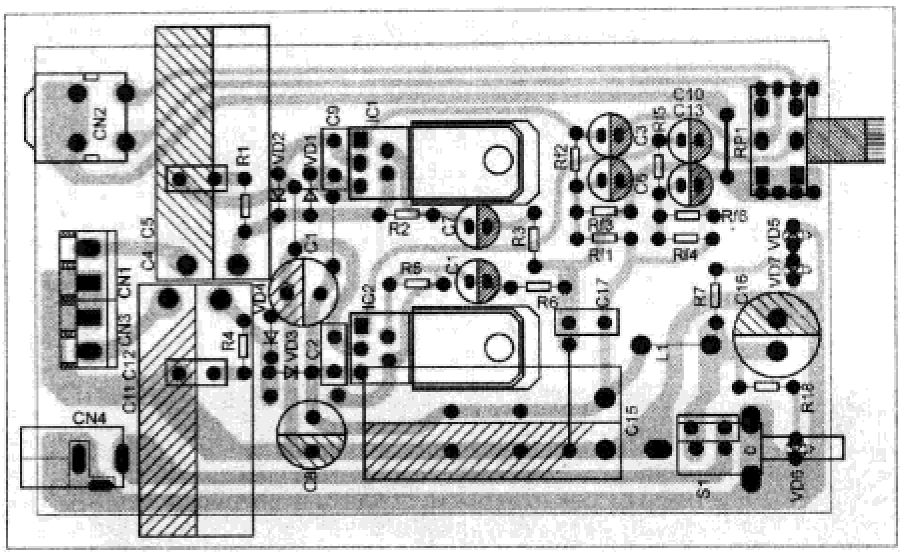


图4 印制电路图

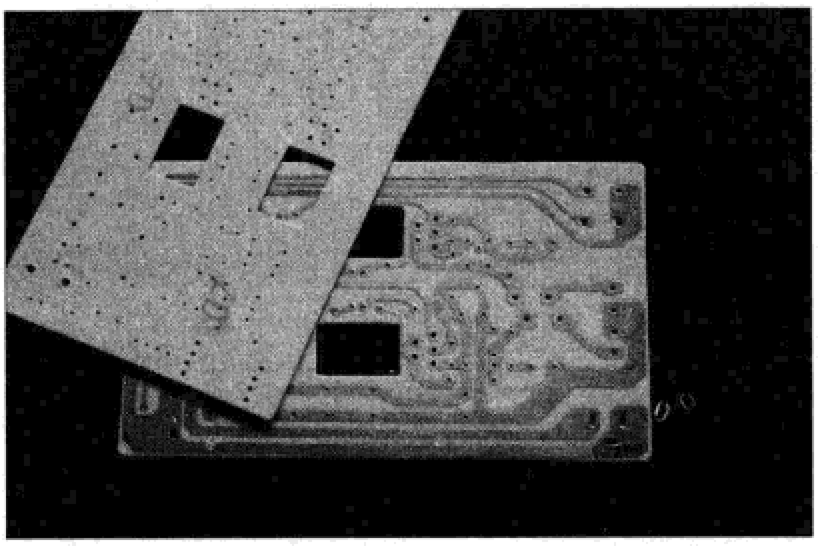


图5 印制电路板

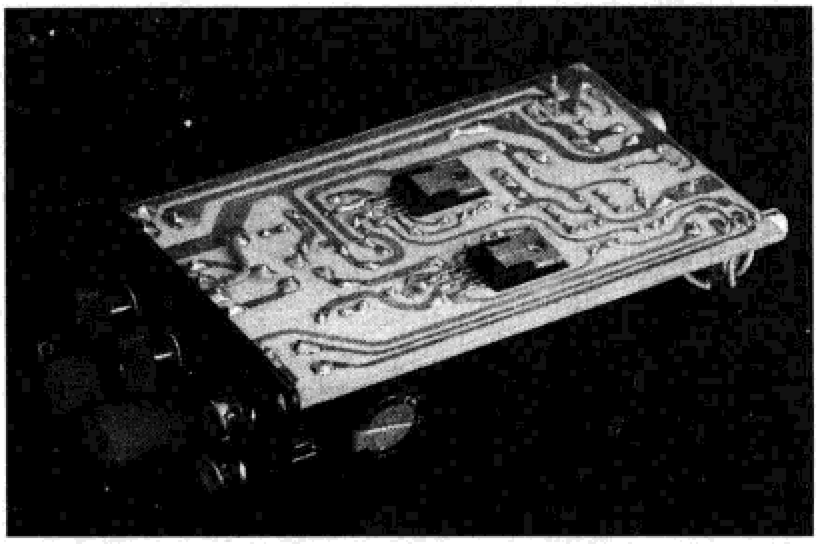


图6 焊接完成的电路板

输出功率就足够，我们无需制作动辄几十瓦的音频功放，本制作选择了意法半导体公司的TDA2030A单声道功放芯片，在4Ω负载下能有18W的额定输出功率，它价格便宜，使用广泛，容易购买，且外围电路简单，很适合业余条件的DIY制作。功放电路方案确定以后，我们就可以根据输出功率选择合适的扬声器来制作音箱，一般尺寸大的扬声器，其低音表现力要更好，但是相应的音箱体积也会增大，由于我们这款音箱的主要用途是小功率下听音乐，因此选择了4英寸的全频扬声器，在低成本的情况下又能保证中频部分的效果。

手工DIY，困难最大的就是外观结构的处理，因此，我们应尽可能利用现成的材料作为外壳，这样既能制作自己想要的作品，又保证了良好的外观。对于本制作，我们需要从市场上选择合适的功放外壳和音箱箱体，并根据这些结构的尺寸设计制作电子部分，这也是本文重点所在，下面将从功放和音箱两部分进行阐述。

功放制作

采用集成芯片制作功放时，笔者建议采用厂家给出的参考电路，因为那是最平衡表现芯片工作参数的电路。图2所示的是本制作所采用的电路图，这也是厂家给出的参考电路，由于使用外部24V/2A的开关电源适配器，所以采用了直流24V单电源设计。

确定好电路后，就可以着手印制电路板的设计制作，我们可以使用protel等专业的软件进行绘制，但在这之前，还需要根据现有的外壳确定电路板上各个接插口的位置，比如音量电位器、音频输入/输出端子、电源输入接口、电源开关等，所以需要先确定外壳上各相应部分的尺寸。为了更好的测量，我们把外壳的前后面板部分的轮廓描在白纸上，再直接在纸上进行测量，如图3所示。确定好接口位置、电路板的尺寸以后，就可以开始印制电路板绘制，图4所示的是完成后的印制电路图。

电路板的制作，可以直接把设计好的文件发给厂家做板，有条件的也可以自己手工制作，这次笔者采用了热转印手工制作方法，图5所示的是制作好的电路板。接下来将进行焊接和装配，由于使用的功放外壳本身为铝材质，可直接当作散热片用，所以

TDA2030功放芯片采用卧式安装，把散热基板固定在外壳上，外壳内部高度很小，对于大的电容元件，也需要卧式安装。图6、7所示的为安装完成的电路板实物。接着便可进行整机的组装，如图8、9所示，完成后的实物如图10、11所示。到此，功放便制作完成，检查无误后可上电测试。

音箱制作

本制作使用了直接购买的成品音箱外壳，箱体的制作环节可以省去，但是很难找到完全匹配箱体，所以很多时候需要对购买到的箱体进行适当改造，本制作采用了4英寸全频扬声器，如图12所示，但购买到的箱体为两单元二分频的密闭箱，因此需要把高音单元的开孔封闭，此箱体没有搭

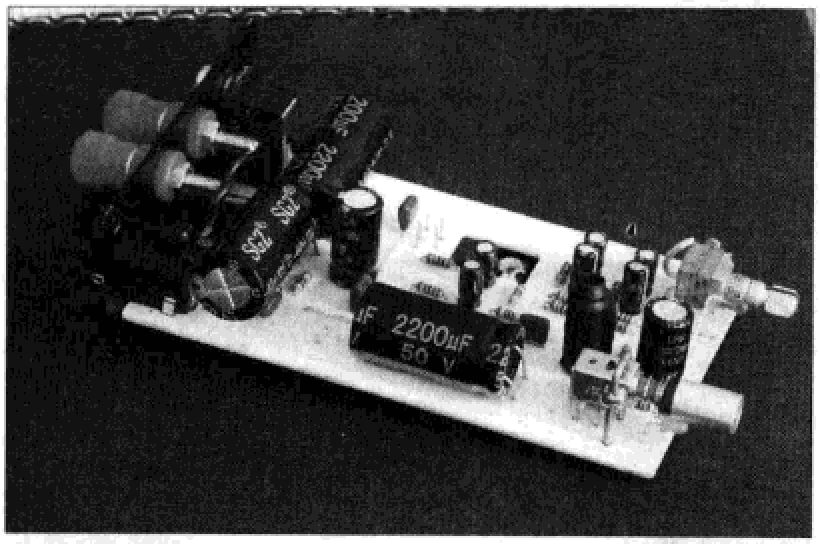


图7 焊接完成的电路板

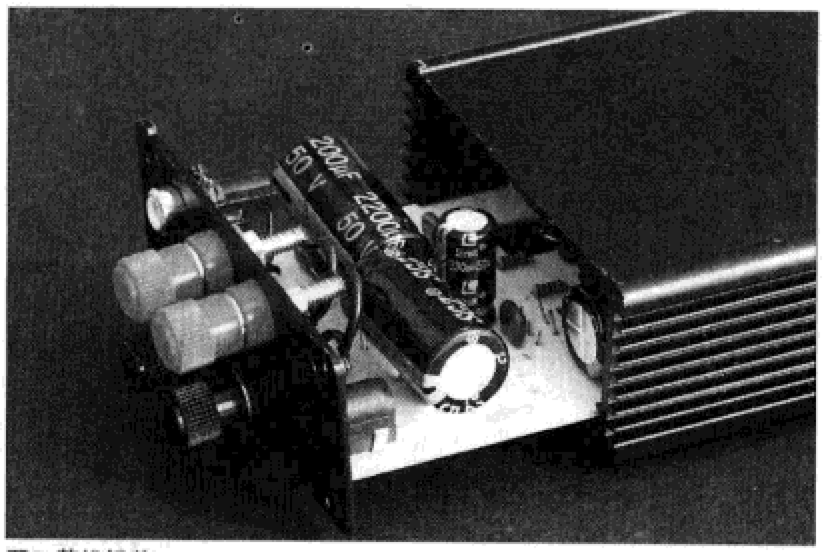


图8 整机组装

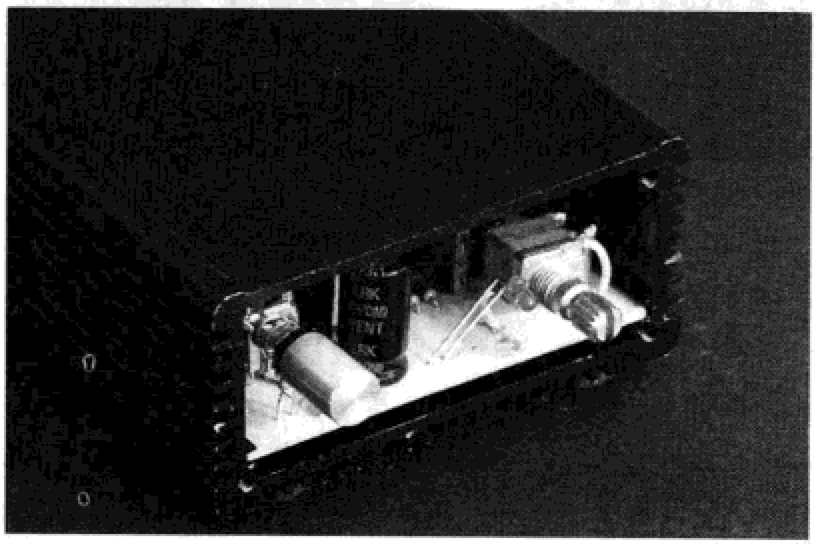


图9 整机组装

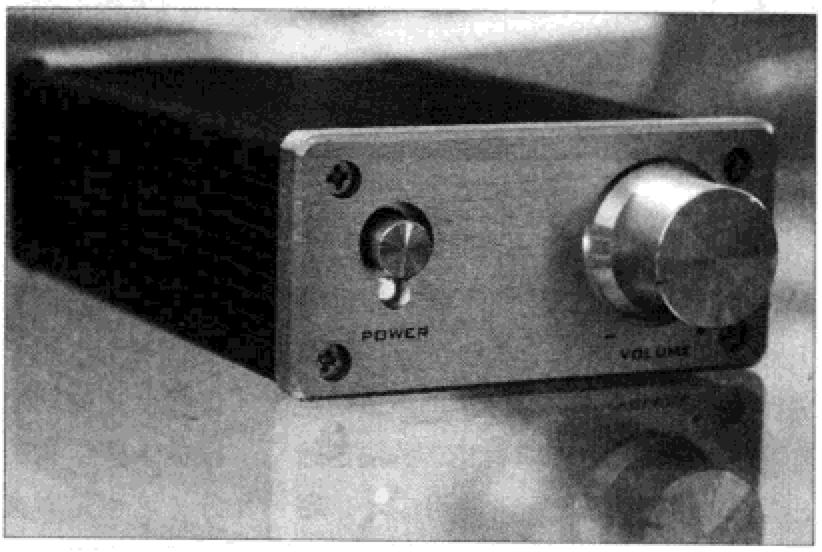


图10 制作完成的功放

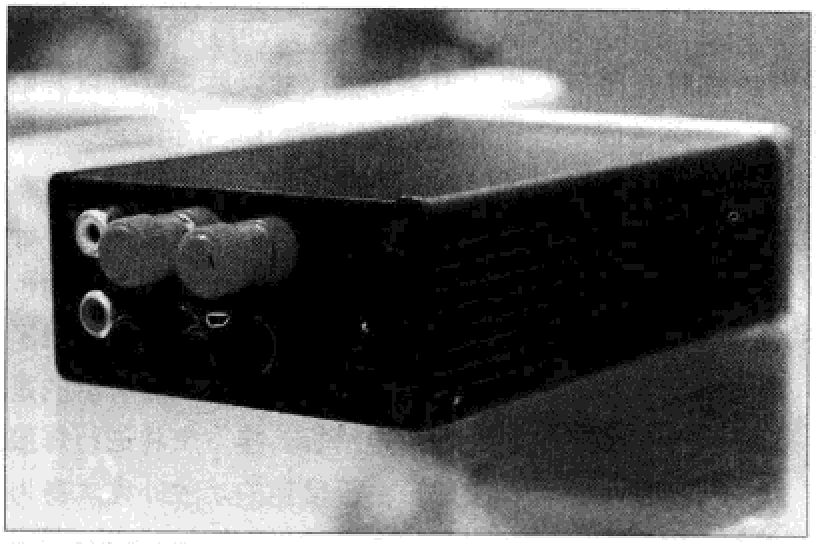


图11 制作完成的功放

图12 全频扬声器单元

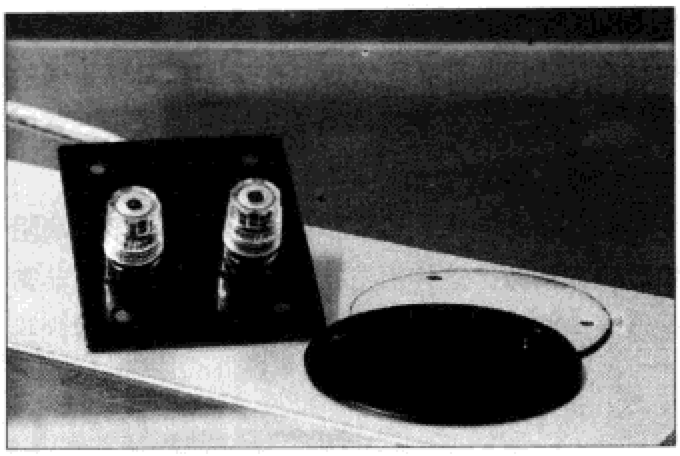


图13 接线板和高音挡板

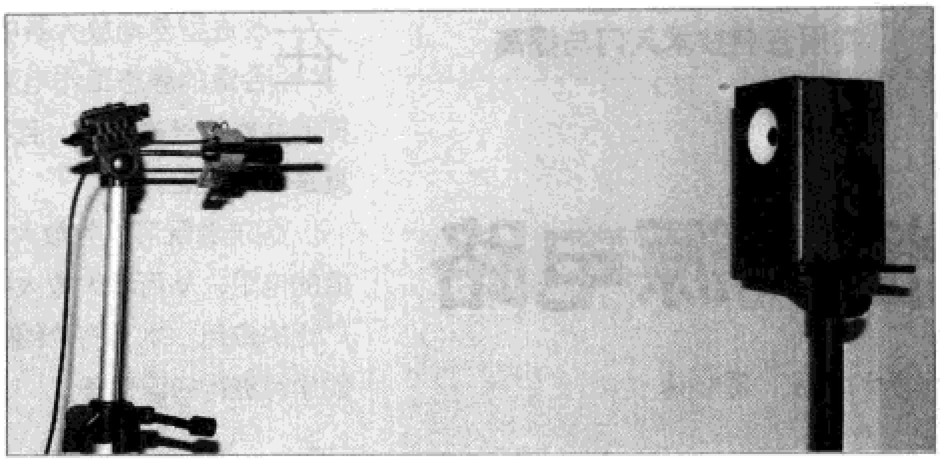


图14 音箱频响测试

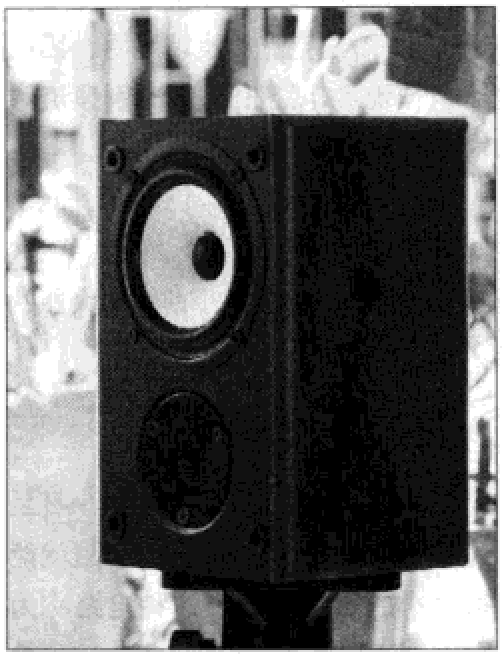


图15 制作完成的音箱

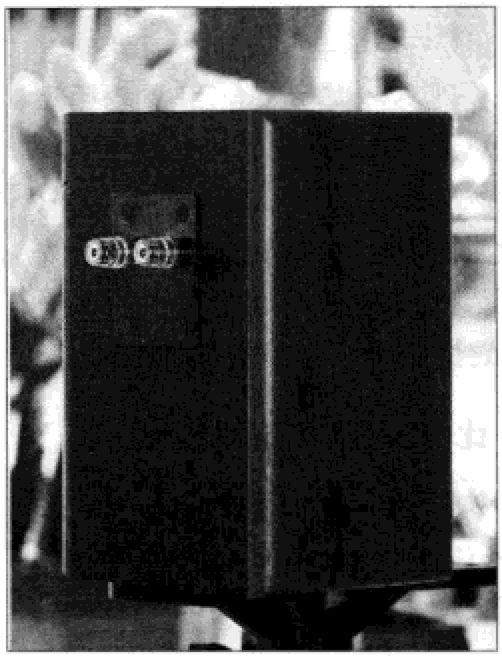


图16 制作完成的音箱

图17 制作完成的整套音响

配相应的接线板，也需要另外制作，所以箱体的结构部分，一共要制作高音孔的挡板以及音频输入接线板。制作时，应尽量就地选材，可使用塑料板，铝板等，这里使用了日常制作电路的覆铜板，先裁剪合适大小的板材并相应开孔，随后再进行打磨、喷漆处理，最终完成的实物如图13所示。把制作完的挡板和接线板安装好以后，箱体便改造完成。

由于箱体的尺寸无法改变，所以不需要进行前期的模拟计算，而是直接把扬声器装上箱体进行测试，我们可对音箱整体的阻抗和频率特性进行大概的测量，图14所示的是远场的频响测试，根据测试结果，可在箱体内部添加吸音棉或者木块，以等效改变音箱的容积，也可以在扬声器前添加适当的滤波电路，改变不同频段的特性。经过反复调试得出较好的结果，再连接功放和音源播放自己比较熟悉的音乐，在主观听感方面检查播放效果，如果不满意，还可基于测试结果做相对的调整，以达到听感上的最优化。调试完成后，便可对扬声器，接线板等部件加固。音箱部分制作完成，如图15、16所示。

整体调试

整套系统的调试可分为简单的功能测试和老化测试两部分，把各个部分连接好后，上电试听，检查是否能正常播放，检查音量调节、开关等功能是否完好，正常后就可进行下一步老化测试。先关机，把音箱部分换成相应的假负载，接线无误后开机，把音量设置到最大，进行长时间拷机，监测各部分是否正常，比如电源适配器和功放的温度是否在正常范围内，以确认各模块散热是否良好，持续老化数小时后如无异常，把音箱换上，再次确认各功能是否正常，一切正常之后，整套系统的制作便圆满完成，如图 17 所示。

本文主要是以一款简单的音响设计制作，向广大爱好者介绍日常DIY的方法，虽然本身并没有什么技术难点，但是只有自己亲自去实践制作了，才能有最真实的体会，在制作的乐趣中提高自身的能力。

大功告成，播放一曲喜欢的音乐，好好享受自己的劳动成果吧！

实用音响技术入门与提高

恒流源电路

◎叶小丽　葛中海

在改进型差动放大器中，用恒流源取代射极电阻R_E，既为差动放大电路设置了合适的静态工作电流，又大大增强了共模负反馈作用，使电路具有了更强的抑制共模信号的能力，且不需要很高的电源电压，所以，恒流源和差动放大电路简直是一对绝配！

恒流源既可以为放大电路提供合适的静态电流，也可以作为有源负载取代高阻值的电阻，从而增大放大电路的电压放大倍数。这种用法在集成运放电路中有非常广泛的应用。本节将介绍常见的恒流源电路以及作为有源负载的应用，为后续内容的学习进行知识储备。

镜像恒流源电路

如图1所示为镜像恒流源电路，它由两只特性完全相同的管子VT0和VT1构成，由于VT0管的c、b极连接，因此$U_{CE0}=U_{BE0}$，即VT0处于放大状态，集电极电流$I_{C0}=\beta_0 I_{B0}$。另外，管子VT0和VT1的b-e分别连接，所以它们的基极电流$I_{B0}=I_{B1}=I_B$。设电流放大系数$\beta_0=\beta_1=\beta$，则两管集电极电流$I_{C0}=I_{C1}=I_C=\beta I_B$。可见，由于电路的这种特殊接法，使两管集电极$I_{C1}$和$I_{C0}$呈镜像关系，故称此电路为镜像恒流源（$I_R$为基准电流，$I_{C1}$为输出电流）。

电阻R中的电流为基准电流，其表达式为：

$$I_R=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R}=I_C+2I_B=I_C+2\cdot\frac{I_C}{\beta}$$

所以，集电极电流

$$I_C=\frac{\beta}{\beta+2}\cdot I_R \tag{2-1}$$

一般来说，$\beta>>2$，输出电流I_{C1}

$$I_{C1}\approx I_R=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R} \tag{2-2}$$

镜像恒流源电路简单，应用广泛。但是在电源电压一定时，若要求I_{C1}较大，则I_R势必增大，电阻R的功耗就增大，这是集成电路中应当避免的；若要求I_{C1}较小，则I_R势必也小，电阻R的数值就很大，这在集成电路中很难做到，为此，人们就想到用其他方法解决，这样就衍生出其他电流源电路。

比例恒流源电路

如图2所示为比例恒流源电路，它由两只特性完全相同的管子VT0和VT1构成，两管的发射极分别串入电阻R_{e0}和R_{e1}。比例恒流源电路改变了$I_{C1}\approx I_R$的关系，使I_{C1}与I_R呈比例关系，从而克服了镜像恒流源电路的缺点。

理论推导证明：

$$I_{C1}\approx\frac{R_{e0}}{R_{e1}}\cdot I_R \tag{2-3}$$

可见，只要改变R_{e0}和R_{e1}的阻值，就可以改变I_{C1}在与I_R的比例关系。式中基准电流I_R：

$$I_R\approx\frac{U_{CC}-U_{BE0}}{R+R_{e0}} \tag{2-4}$$

与典型的静态工作点稳定电路一样，R_{e0}和R_{e1}是电流负反馈电阻，因此与镜像恒流源电路相比，比例恒流源的输出电流I_{C1}具有更高的稳定性。

当$R_{e0}=R_{e1}$时，I_{C1}仍然等于I_R，但此电路的I_R由式（2-4）约定，比式（2-2）的I_R小，一般用于前置放大器的输入级。

微变恒流源电路

由式（2-3）可知，若R_{e0}很小甚至于为零，则R_{e1}只采用较小的电阻就能获得较小的输出电流，这种电路称为微变恒流源，如图3所示。集成运放输入级静态电流很小，往往只有几十微安，甚至更小，因此微变电流源主要应用于集成运放输入级的有源负载。

当$\beta>>1$时，VT1管集电极输出电流I_{C1}：

$$I_{C1}\approx I_{E1}=\frac{U_{BE0}-U_{BE1}}{R_e} \tag{2-5}$$

式中，（$U_{BE0}-U_{BE1}$）只有几十毫伏，甚至更小，因此只要几千欧的R_e，就可得到几十微安的I_{C1}。

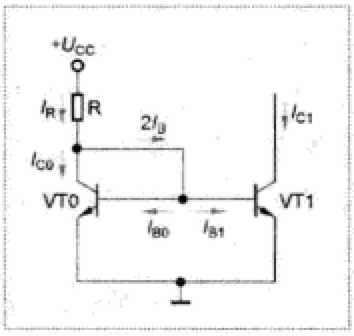


图1 镜像恒流源电路

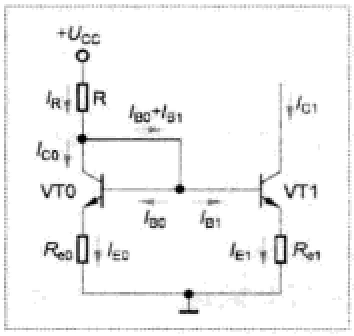


图2 比例恒流源电路

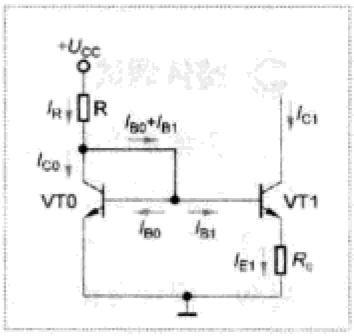


图3 微变恒流源电路

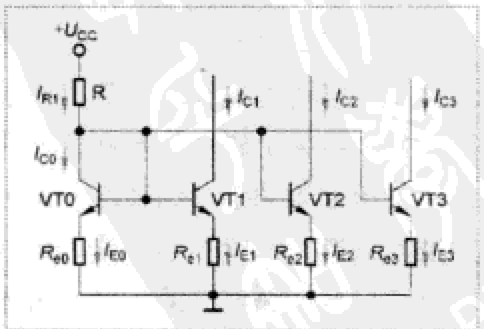


图4 多路恒流源电路

玩转老功放之高级篇（中）

◎梓门

常见的电路原理图符号

认识电路原理，除了应该知道元件实物，还要和电路原理图中的相应符号对上号，常见的电路原理图符号如图6所示（见上期）。

所幸的是，同一幅电路原理图中并不会出现同一元件的不同画法，同一个公司的画法一般在相当长的时期内也是一样的。

另外需要说明的三极管的画法，带有圆圈的画法也很常见，就是在图中符号的外围加上个圆圈；场效应管的画法，栅极的位置除了图中偏下的位置，也常常有居中的画法。

认识了常见的元件实物与电路原理图符号的对应关系，就可以试着阅读电路原理图了。

TA-1150的电路原理图

1. 读图的基本方法

读电路原理图一般遵循“先全局、后局部，先功能、后原理，先主要功能、后辅助功能，先已知、后未知”的方法进行。

所谓“先全局、后局部”，就是按照“整机的基本功能→整机的基本信号流程→单元电路（局部）”来读电路原理图。

对于功放而言，有合并式与纯后级之分，所谓合并式，就是包括前级后级的功放，这样的功放一般包含完善的音源选择电路、音量与音调调节电路、功率放大电路、电源电路等部分组成，而纯后级，从狭义上说，就是只有后级，没有音源选择电路和音量控制电路，从广义上说，有时候纯后级也有音源选择和音量控制电路，但是不会有音调控制电路。

其次是基本的信号流程。无论什么样的电子设备，通常都有信号输入、输出，电源输入端口，有些还有电源输出端口，这些部分有助于我们从全局上理解电路原理图，在维修上，如果没有电路原理图，这些端口也是认识电路全局的关键部位，也是处理简单故障的关键部位。

所谓“单元电路”是指同一功能的电路会尽量安排在同一区域。这有助于我们将电路分成几个相对独立的几个部分去理解，这对于复杂电路尤其有效。如合并式功放一般都可以分成音源选择、音量与音调调节、功率放大、电源、保护电路几部分。

所谓“先功能、后原理”是“先全局、后局部”的延续，先认识单元电路的功能，然后去理解电路原理，相对要容易一些，如知道了功放的音调电路，就可以知道无源的衰减式电路、有源的负反馈式与衰减-负反馈式、有源的衰减式几种电路形式，查阅相关电路原理即可。

所谓“先主要功能、后辅助功能”是从信号流程的角度而言的，从信号流程来理解电路原理也是读图的捷径之一。日系厂商不但随机配送维修手册的比例高，而且电路原理图往往标出信号通道，这在收音机、收音头、组合音响中更为常见，相比较国内的一些制造商以技术保密为由往往不提供维修手册的做法，服务的理念差别立现。

所谓“先已知、后未知”，就是我们往往会遇到我们并不熟悉的电路设计，即使是高手也不例外，先读自己本来知道的电路原理显然是一条捷径，如果已经知道了整机的基本功能和基本信号流程，有个别单元电路的原理不知道也不为虑。

在比较完善的维修手册中，一般会先提供整机电路框图，这对快速了解整机的基本功能、基本信号流程和单元电路是非常有用的，也是详细阅读电路原理图的“纲”。图7所示的就是TA-1150的整机电路框图。

2. TA-1150的音源选择电路

TA-1150是一部合并式功放，整机的电路原理图的幅面比较大，篇幅所

多路恒流源电路

集成运放是一个多级放大电路，因而需要多路恒流源电路分别给各级提供合适的静态电流。可以利用一个基准电流去获得多个不同的输出电流，以适应各级的需要。

图4所示电路是在比例恒流源基础上得到的多路恒流源电路，I_R为基准电流，I_{C1}、I_{C2}和I_{C3}为三路输出电流。由于各管的b、e间电压U_{BE}数值大致相等，因此可得近似关系

$$I_{E0}R_{e0}\approx I_{E1}R_{e1}\approx I_{E2}R_{e2}\approx I_{E3}R_{e3} \quad (2\text{-}6)$$

当I_{E0}确定后，各级只要选择合适的电阻，就可以得到所需的电流。

限，这里按照单元电路来逐一作简单说明。图8所示的是音源选择电路。

老功放的音源选择电路一般采用机械开关，与电子电路的关系不大，不过带有唱放（塑胶唱片电唱机）前置的除外。TA-1150即带有唱放前置电路，俗称RIAA均衡放大器，具体如图8所示。有些功放会采用晶体管或者IC作电子开关，有些机型还会采用继电器作为选择开关，但是万变不离其宗，找到控制信号通断的“触点”，就可以当作机械开关来分析了。如果是晶体管，集电极与发射极就相当于机械开关的一组触点；IC只不过集成了多个晶体管，按照晶体管分析即可；继电器是可以自动控制的机械开关，找到相应的触点并不难。

音源选择电路乍一看比较复杂，尤其是功能完善的机型，既有输入又有输出（录音输出），TA-1150即使如此，不过参照图7所示的整机电路框图，抓住这一部分电路的信号输入端与输出端，是比较容易理解的。即便是有些眼花缭乱，抓住了信号输出端，就可以知道信号的基本流程了。要分析具体的原理，首先是将双声道选择电路简化成单声道（因为两个声道是对称的），就像图7那样，然后是查看所有选择开关的默认位置，其实图示位置就是默认位置，但我们需要这些默认位置具体是什么位置，然后逐一对照选择开关的每一组触点。

音源选择电路中的唱放前置是标准电压放大器，将电唱机输出的微弱信号放大到线路电平的水平（标准电平为 0.775V，即 0dB 电平）。唱放前置放大器的另一个任务是去加重，将唱片刻录时特意加重的高音部分按照标准以相反方法还原成唱片刻录前的音频信号的本来样子。这种电路几乎无一例外采用阻容元件构成反馈网络，不同的是放大电路，采用三极管或者 IC，常见的是通用运算放大器（简称运放）或者专门针对音频应用设计的通用的运放，TA-1150 用的 IC，但是比较特殊，是 SONY 公司自家专用的运放，具体型号是 CX-0461，它和后面的 CX-0462 略有不同，目前只见于 SONY 产的机型中。虽然在很多老型号的 SONY 产品中都能见到二者的身影，并且低、中档机型中均有，但是早已经停产了。

如果忽略RIAA阻容反馈网络，图示唱放前置可以视为运放构成的同相电压放大器，R108和R107、R104决定了电路的放大倍数，C102则起交流旁路的作用。CX-0461自身集成了电源稳压和电子滤波功能（笔者推测），工作电源电压应该是15V以内，CX-0462则增加了静音控制功能。

图中的REC/PB是磁带卡座专用的录/放音插座，是一根类似于现在的S-Video信号线的5芯带屏蔽层的连接

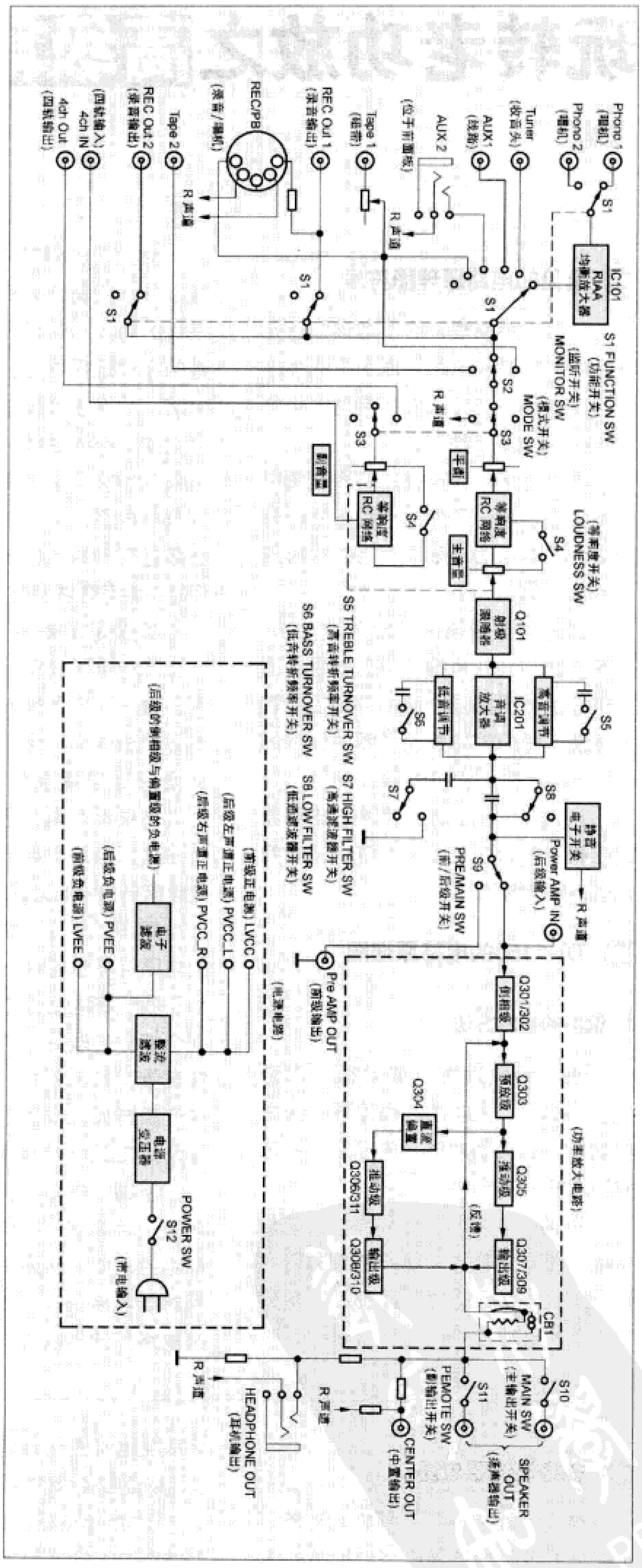


图7 SONYTA-1150/D的整机电路框图

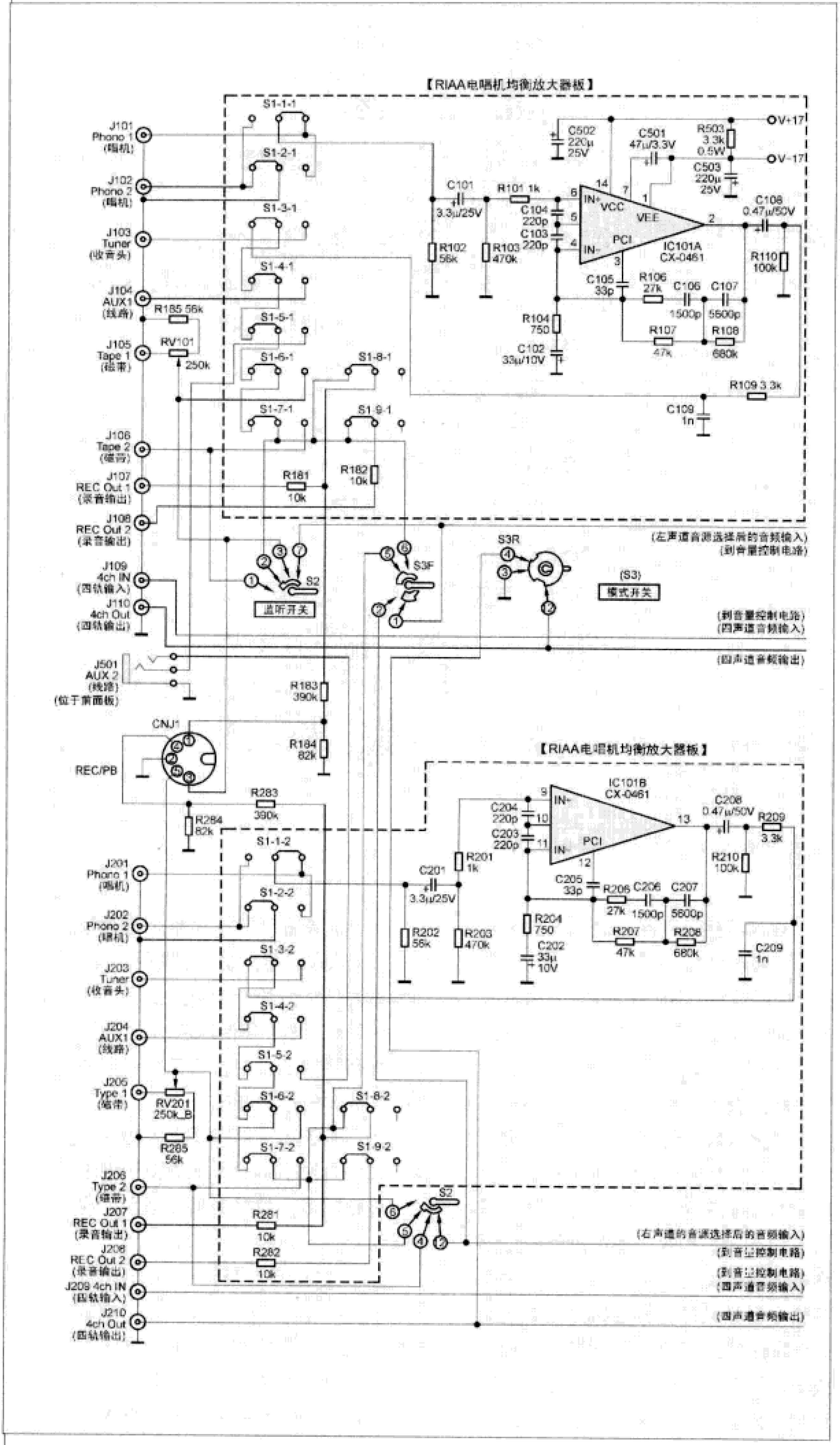


图8 SONYTA-1150的音源选择电路

线插座，但是物理尺寸与S-Video并不相同，一般只有高档的卡座才会有这样的接口。

3. TA-1150的前置放大电路

音量与音调调节电路通常并称为前置放大电路，前级也是因此而得名的，在进行音量与音调调节的同时，还将音频信号从0dB电平（0.775V）进一步放大到线路电平（2V），同时具备相对比较低的输出阻抗（一般为1kΩ左右），以便和后级相匹配。

篇幅所限，这里将TA-1150的前置放大电路分成了两部分，一部分是音量控制与缓冲放大，一部分是音调控制。

TA-1150有音量调节电路，有四音轨控制功能，这和目前的多声道音频并不是相同的概念。四音轨是当时比较Hi-Fi的录音方式，因为如今已经退出了历史舞台，具体原理这里就不赘述了，我们只需要知道它是一种与改善录音性能有关的电平控制方式就可以了。从图中也可以看出，虽然音量电位器是四通道的，与后续信号通道有关的，实际上只有两个通道（RV193、RV293），就信号放大而言，还是双通道立体声。

在音量电位器之前，接有平衡电位器，平衡电位器的作用是如果输入的两个声道的音频信号的电平差别比较大时，可以通过平衡电位器让两个声道的音频信号的电平大致相等，以增加立体声效果。过去磁带和塑胶唱片流行时，两个声道的信号电平往往会在重放时产生差别，对于CD而言，这种差别产生的几率很小，平衡电位器也就可有可无了，如果它发生故障了，可以将其跨接不用。另外，平衡电位器会对通道分离度也有一定的负面影响。

音量控制电路的另一个功能是等响度控制，是通过音量电位器的中间抽头实现的，目的是补偿人耳的非线性，因为人耳对不同响度、不同频率

的声音的灵敏度是不一样的，但是从本质上说，是一种纯粹带来失真的电路，因此带有等响度控制功能的电路一般都会附带开关，允许用户关闭等响度控制功能。而且，在大音量时，等响度电路也是不必要的。另外等响度电路还会降低音量控制范围，对于机械式电位器更为明显，电子音量控制方式则不明显。

图9所示电路的等响度功能打开时，音量电位器置于30dB的衰减量时，相对于1kHz的音频信号而言，50Hz的音频信号会提升10dB，而10kHz的音频信号仅提升3dB。

缓冲放大器是为了隔离音量调节与音调调节电路，避免两个单元电路相互影响。在电路上则是为了实现前后级，即音量控制的输出与音调电路的输入端之间的阻抗匹配，因此缓冲放大器一般具备很高的输入阻抗和很低的输出阻抗，本身基本没有电压放大能力。图9所示的缓冲放大器用三极管构成，是典型的共集电极电路，这种电路也可以用运放构成，最常见的电路形式是将运放的反相输入端与输出端直接相连，信号从正相输入端输入，除了电源电路和耦合电路，不需要其他外围元件。

TA-1150的音调控制电路如图10所示。

图10所示的音调控制电路是一个衰减－反馈式电路，属于有源音调控制电路。图示电路是双声道电路，基本上是对称的，加上补偿电路、电源电路、输出低通滤波器和静音控制电路，看起来有些复杂，将与音调控制无关的元件去掉，只考察一个声道，图10电路就可以简化为图11所示的电路。

多数有源音调控制电路都可以简化为图11的电路形式，如果将转折频率选择开关去掉，电路就会更为简化。稍微复杂一些的电路还会有中音调节，更为复杂的还有图示均衡器（多频点音调控制器）和参量式图示均衡器。

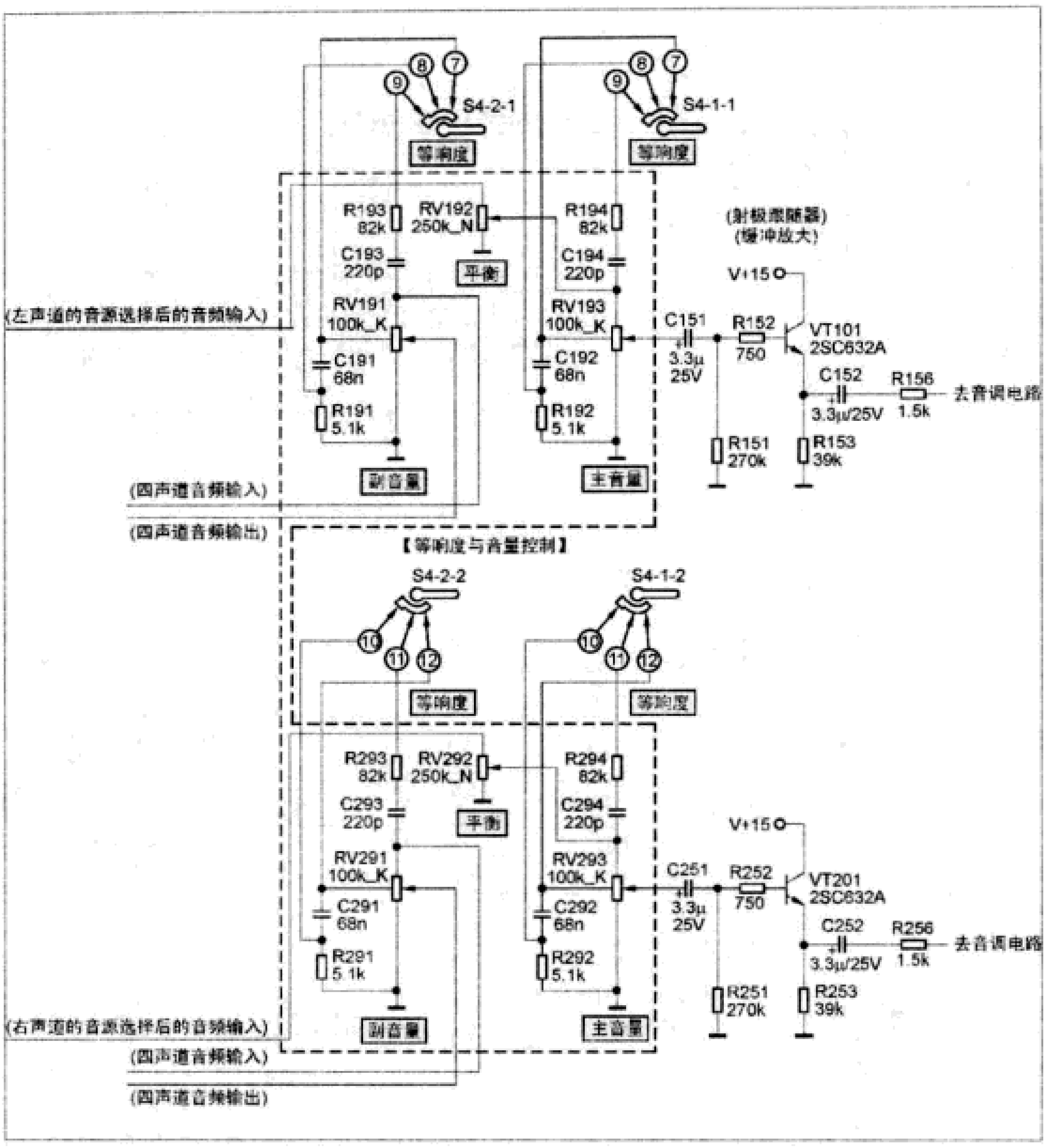


图9 SONYTA-1150的音量控制与缓冲放大电路

音调控制器和图示均衡器的区别在于，前者是以1kHz为中心进行调节的，而图示均衡器则是将音频频域分成若干段，以每段的中心频率来调节。因此，普通的音调调节是相对于1kHz而言，提升或者衰减了多少dB，通常将提升或者衰减3dB的频点称为转折频率，这两个点在理论上是相同的，因此以转折频率来衡量二者并无不同。而图示均衡器是相对于各频段的中点频率提升或者衰减了多少dB，中心频率在整个音频频域通常是按照倍频程的规律来分布的，即相邻的两个中心频率成倍数关系。也有以1kHz为中心，按对数关系分布的，如常见的5段式图示均衡器的中心频率通常为：100Hz、330Hz、1kHz、3.3kHz、10kHz。

图示均衡器通常是将整个音频频域分成奇数段，最少是3段，民用产品中常见的是5、7段，专业产品可以多达31段乃至更多。需要注意的是，3段图示均衡器和低、中、高三段音调调节的频率特性是不同的。

图示均衡器可以实现更为精细的调节，但是对于经验不足的使用者来说，段数越多，越容易画蛇添足，越调越乱。

TA-1150的音调调节电路的转折频率是2挡可选的，图中的S5、S6就是选择开关。音调控制电路的频响特性如图12所示，如果没有转折频率选择开关，则频响曲线就只有1组，即图中的(1)或(2)。转折频率不同，只是影响曲线的位置，大致的形状都是如此，

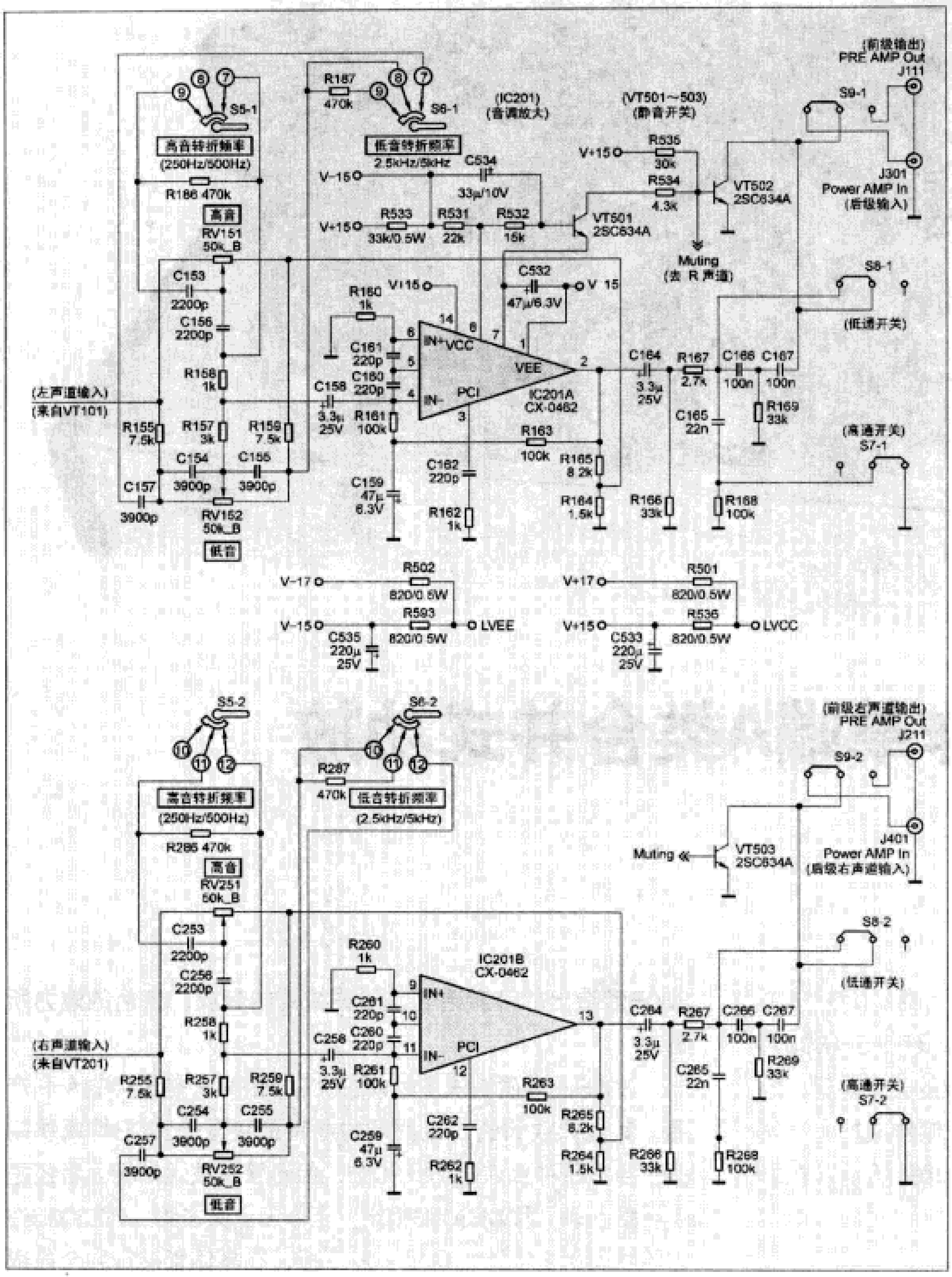


图10 SONYTA-1150的音调控制电路

即使是无源音调控制电路也是如此。图中的曲线还显示出了音调控制电路的控制范围，大致为±12dB，提升量略低于衰减量，最大衰减量可以达到15dB。在表4所示的TA-1150的技术规格书中给出的标称值是±10dB（典型值）。当然，音调控制范围也不是越大越好。

图10中的S7、S8是低通与高通开关，这主要是为当时收听广播节目和聆听电唱机音源而设置的，低通开关是S8，这个开关置于“开”的位置时，会按照每倍频程大约6dB的衰减速率切除5kHz以上的信号，收听广播节目时的人声背景就显得干净多了。S7是高通开关，这个开关置于“开”的位置时，会按照每倍频程大约6dB的衰减速率切除100Hz以下的信号，聆听电唱机节目源时，唱针噪声就会被抑制，背景同样会显得干净许多。

开关S9就不用说了，是合并/分体转换开关，当作为合并式放大器使用时，外部就不用短接插头了。

TA-1150的后级输出端没有设置现在常见的继电器保护电路，图10中的静音电路是为了抑制前置放大器在开关机瞬间产生的冲击声，外文资料一般称为“pop”声。其中VT501是控制管，VT502、VT503分别是两个声道前置放大器输出端的电子开关，在开关机的瞬间将输出信号短路到地。

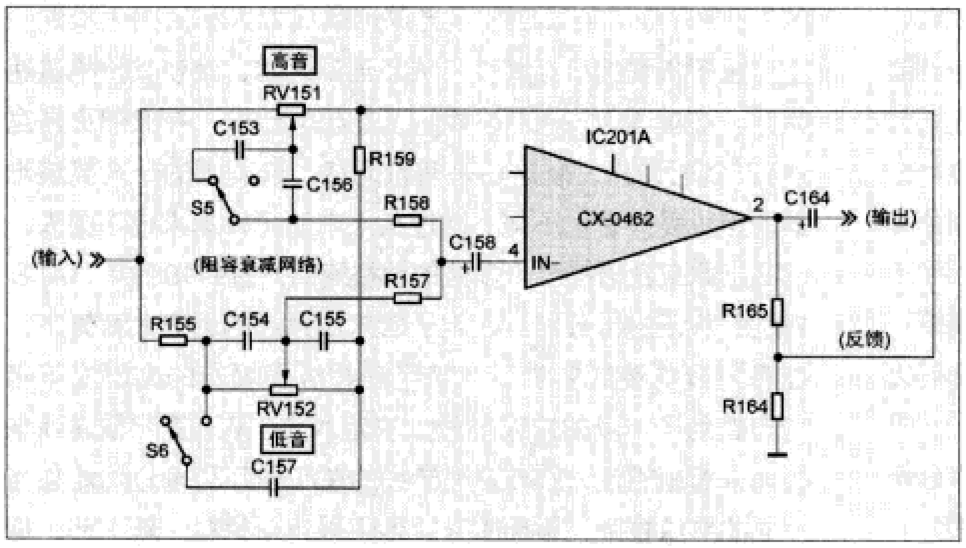


图11 SONYTA-1150音调控制电路的简化电路

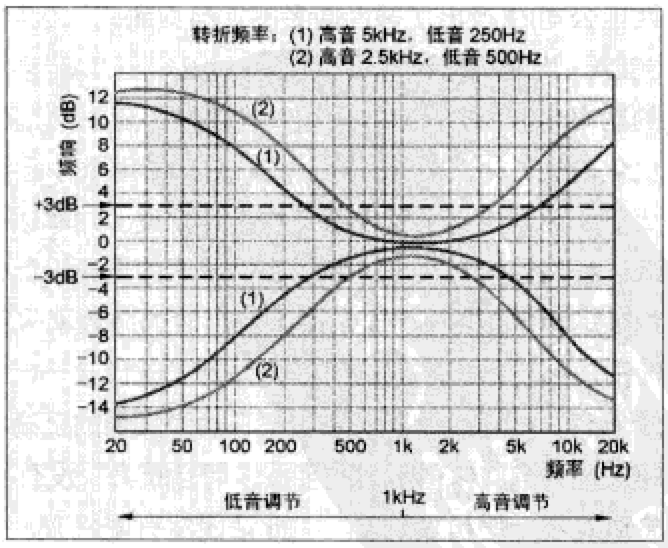


图12 SONYTA-1150音调控制电路的频率响应特性

梦幻之球 天籁之声

——用300B制作单端A类合并式功放

◎张全定

我是胆机爱好者，曾组装过多款胆管放大器，如6P14单端小胆机（曾在本刊做过介绍）、6L6及FU-5（805）单端机、KT88推挽机等，制作300B一直是我的美好愿望，故于两年前邮购了套件，经过两年的努力终于制作成功了，现将自己的乐趣分享给大家。最后定型电路如图1所示（在原厂提供的电路上稍加改动）。

关于300B胆管

1930年，由美国Western Electric(西部电器公司，简称西电公司)生产出了举世闻名的古典直热式三极电子管300及300A，当时的灯丝电流有1.0A、1.2A、1.4A等多种，电子管的功率也分8W、10W、12W等数种，随后经过数年的多次优化改进，于1934年定型为300B，沿用至今已有约80年的历史。由于该电子管内部结构设计合理、功率适中、内阻较低、线性极佳，几乎达到了完美无瑕的理论设计极限，用它组装的单端A类功率放大器推动当时的高效率号筒扬声器，能播放出行云流水般的声音，倾倒了一代又一代的发烧友及爱乐者。难怪当今有发烧友把它喻为发烧的至高境界，一颗镶嵌在音响文化皇冠上的宝石，而且断言“没有听过300B声音就算不上胆机发烧友”，此话固然有些偏激，但也说明了300B营造出的清澈透明、甜美纯真的音质、音色的魅力所在。

300B的准确叫法应为WE300B，因为它是西电的专利产品，其他如欧洲的、俄罗斯的或者是我国的300B均属仿制品。虽然品种目前已不下30个，但不管从技术指标上看还是从听感上讲，和WE300B相比，至今无出其右者。WE300B在它的发展历史道路上也是一波三折，在晶体管盛行并全面取代电子管的1988年，这个在世界电子管发展历史中曾经辉煌了将近60年的WE300B的生产线无奈地停产了，停产时仅存的3万余只电子管很快被眼光深远的日本人和法国人抢购一空。由于货物的日渐减少，成了无源之水，致使其价格迅速飙升，在美国WE300B被炒到了750美元/只，在亚洲更是高达1250美元/只，就这还是有价无货。连美国的一些高烧难退的胆机爱好者也不得不回过头来求助于日本人或法国人，以高出原来数倍甚至十多倍的价格购回。直到1992年，AT&T集团（WE的母公司）在电子管东山再起的历史大背景下，在各方音响迷的要求下，曾经是超级发烧友的高层决策者们也看到了市场的广阔前景，决定斥资500万美元重建西电公司，重新召回WE300B生产线的总工程师和多位均能独当一面的熟练技师，重整旗鼓。他们采用新材料、新工艺，据

说运用了7项新技术，结合异常严格的甚至是苛刻的管理手段，使新WE300B的各项技术指标更上了一层楼。如真空度就比原来提高了100倍，真空度大幅提高后，为抵抗大气压力，在生产管壳的玻璃原料中加入了人造水晶，不但使胆管看起来更加透明漂亮，也使声音发生了微妙的变化，而且其使用寿命也奇迹般的达到了平均4万小时，以每天听音3小时计算可用40年之久。

令人振奋的是，就在西电公司的WE300B停产到再生产的这几年空挡中，我国最大的电子管生产厂家长沙曙光厂不失时机地和英国PM公司合作，研制300B并迅速在1991年初以“曙光金龙”牌正式向市场推出。新产品质量上乘、直追WE300B的各项技术指标，受到全球Hi-Fi界的关注，曾一度被称为继原厂WE300B之外市面上最佳的300B制品。巧合的是我国柳州桂光电子管厂同时也推出了桂光4300B（300B的另一种叫法），其声音走向具有欧洲风格，同样吸引着众多发烧友的注意。更令人惊喜的是我国天津也在这一时间组建了全真电子管厂，据说该厂是由原北京电子管厂数位退休工程师联手于1998年组建的民营企业，桂光停产后一些富有经验的熟练技工也参与其中，因而在世界诸多300B中它生产的Full Music300B管被认为唯一能与WE300B一决高下的电子管。无论是理论参数还是听感，它都足以叫板WE300B，且价格比西电产品低得多。所以不仅在国内，就是在欧美以及日本的资深发烧友中它均受到极力推崇。

国内数家电子管生产厂家制造的300B管不仅将我国推向世界电子管生产大国这一宝座，也为广大发烧友提供了一个绝佳的选择。国产300B物美价廉，使普通发烧友都能玩得起，玩得转，这不能不说是国内发烧圈内的一大幸事。

电路原理

该电路既经典又成熟，它有如下特点：（1）为了充分发挥300B电子管的优秀潜能，该机在前级电压放大以及推动级均采用了双三极管并联的接法。这一接法曾一度不被一些发烧友看好，被认为是双管并联没有单只管子发出的声音干净利落，解析力下降。但笔者并不这样认为，这是因为：双三极管是将两只特性完全相同的三极管封装在一个玻璃壳内，两管几何形状、尺寸一样，所用材料一样，管内真空度平等共享，所以两管的一致性完全能够得到保证。即使在使用中有什么变化，如逐步衰老，那也是两只管子同步进行，故完全可以将两只管子并联后看作是非常理想的单三极管，且它的技术参数得到了极大的改善，如内阻降低了一半，输出电流增加了1倍，这就使得整个电路的电气性能在不增加放大级数的情况下得到进一步优化，如展宽了频带，大大改善了阻尼特性，提高了驱动力度，增强了带负载能力等。

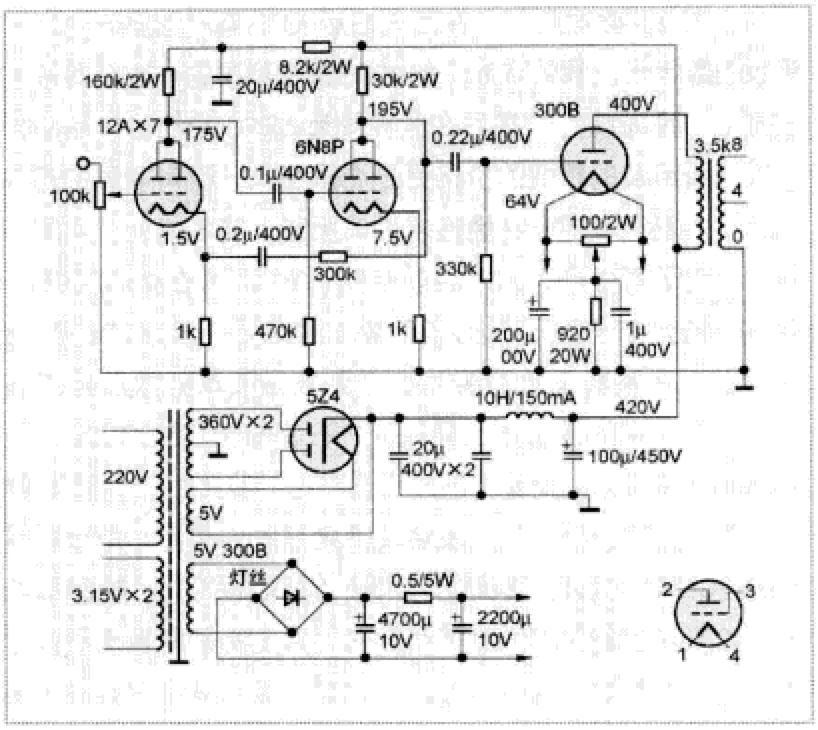


图1 300B单端A类合并式功放电路图

（2）取消了大环路负反馈。负反馈这一技术曾经被广泛应用在模拟放大电路中，特别是在晶体管电路中，由于晶体管的先天不足（如对温度的变化较敏感），工作稳定性相对较差，加入负反馈后会使电路的特性得到极大的改善。然而在电子管模拟放大电路中，人们越来越觉得加入这一技术后有画蛇添足之嫌，实践也证明取消大环路负反馈后，声音变得格外的鲜活，热情奔放，有跳跃感，特别是对300B这只线性特好的管子，其音质音色表现得更是活灵活现，绝无拘束之感。（3）电源电路下足了功夫。首先是两声道分别有两路独立的电源，各行其职，互不干扰，大大提高了整机双声道分离度，使声场和定位更为准确，其次，整流管使用电子管，不但使音色更靓，胆味更浓，同时电源实现了软启动，这对延长放大管的寿命特别是延长价格昂贵的300B的寿命起到了至关重要的作用。其次是两路电源的滤波部分不计成本地使用了两只10H/150mA的低频扼流圈，即采用了品质优良的LC滤波电路，因为A类单端放大器对电源的纹波系数要求极为严格，用RC滤波电路是难以胜任的，不像推挽机那样，输出变压器的次侧上、下臂是对称的，电源中即使有一些交流成分也互相抵消了。最后是电源滤波部分，值得一提的是滤波电路的第一级加入了两个凯立牌20μF/400V的优质薄膜电容。由于薄膜电容充放电速度极快，使胆机那种慢悠悠的先天弊病得到了改善，使声音干净利落，绝无拖泥带水之感，解析力达到了高档胆机才有的水准。

元件选择

胆管全部选用国产管，功放管选用了曙光300B-98出口

型的，顺便再啰嗦几句，在西电旧版300B停产到重新生产出新版的数年里，我国曙光厂的300B曾被英国的一家公司拿回去打上“金龙牌”，然后在世界作为WE300B的替代品高价出售，所组装的整机的价格更是高得惊人。而有意思的是我们的一些发烧友却一味地追求进口胆管。笔者以为，我国已是世界电子管生产大国，目前至少有3个厂家在生产300B，柳州的桂光电子管厂于2000年停产关闭后，又于2007年被有识之士将整套设备购买并搬迁到我国改革开放的前沿省份——广东省的佛山市，同时生产出新桂光NGG300B。目前笔者还没有见过此管，不过听说不错。我国生产的300B物美价廉，已被世界公认，发烧友完全可大胆选用。前级胆管选的是北京的6N4、曙光的12AX7（两管通用）；推动级选用了南京20世纪50年代生产的6H8，声音特别厚重而不失靓丽，后来的新型号为6N8P、6SN7等。级间耦合电容对声音的影响也不可小看，套件提供的是红色的凯立牌MKP电容，有发烧友曾专门写文章在某刊物上介绍过此电容，实践也证明该电容的确有着不错的表现，和新德克电容一样，均为国产电容中的佼佼者。不过笔者手头有数款电容，玩机的发烧友玩的就是不断更换同一型号，不同厂家、不同品牌、不同时期生产的胆管，玩同一规格，不同品牌、不同材质、不同时期生产的电阻、电容，特别是耦合电容，玩得有滋有味，细细体验不同的元件、器件的不同音色走向，练就耳朵、积累经验、增长知识，从中得到无穷的乐趣，只有圈内的人才有这种深切的体会。笔者手头有德国的WIMA（威马）电容，选红色的并印有MKP10字样的品种最好，价格特别低廉，拆机品才每只1元多，声音中规中矩，多年前曾被炒作过一阵子，性价比特高，不妨多买几只试试；美国的VQ0.1μF/600V思碧油浸电容，拆机品为30～40元/只，拿在手中沉甸甸的，声音沉稳厚重，高、低频的延伸也好于其他电容，只是低频稍显肥厚，多煲一段时间后会有明显改善。还有美产的SPRAGUE（思碧），表现比较全面，高、低频较平衡，特别是中高音耐人寻味，只是价格高一些。法国的SSOUEN SCR（索伦），也叫大S电容，在发烧友中口碑颇丰，性价比也较高，值得一用。另外笔者手头还有美产黑寡妇等其他古董电容，由于种类太多，品牌不同，声音走向各异，在此不再赘述。

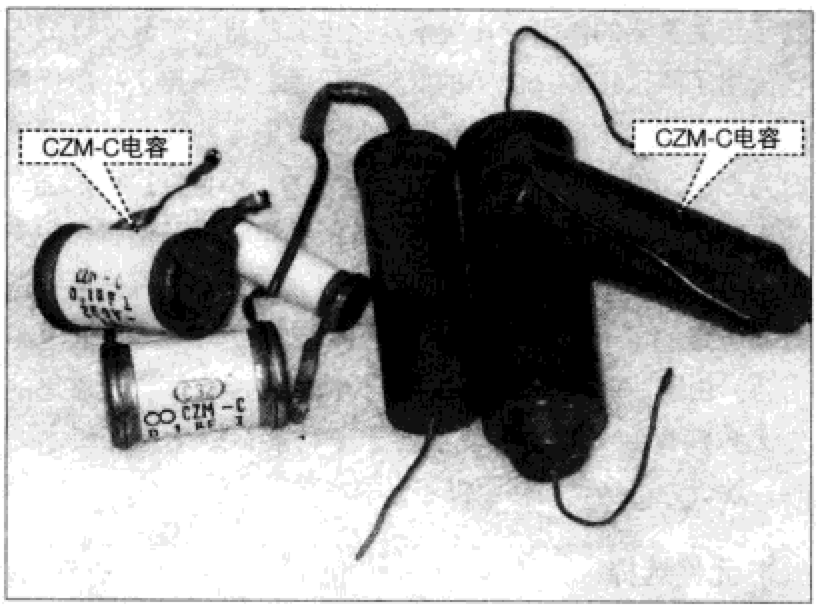


图2 特别推荐的两种电容

这里我要特别向发烧友推荐两款国产电容，一是CZM-C电容，就是我们经常见到的白陶瓷管，两边用铁箍封焊宽引脚的那种。该电容声音表现极为全面，特别是中频甜美，高音亮丽，对听人声以及弦乐特别适宜，笔者用的是拆机品，需要煲一煲，不然它有那么一点点极微的沙粒声，不细心品味是听不出来的，但这也不能不说是一个小小的瑕疵。二是CZM-J，也有标JCZM-J的油浸电容，颜色多为深灰色或深绿色，两种电容的外形见图2。该电容声底厚实，高、低频的延伸均好，特别是低音表现厚而不肥，恰好弥补了胆机低音欠缺这一先天缺陷，听各种音乐它都能应对自如，性价比也特高。如果非要找缺点的话，就是其体积稍微偏大。总之，耦合电容的音色走向是仁者见仁，智者见智，自己觉得满意，那就是最好的。

装配与调试

当拿到套件、打开机箱后盖时，看到电源部分已由厂家安装调试就绪，300B功放管的灯丝用直流供电，5V灯丝电压以及高压电源的整流、滤波的阻容元件整齐的排列在一块印制电路板上，两只低频滤波扼流圈、300B的920Ω/20W阴极电阻、220μF/100V电解电容以及1μF/400V的薄膜电容分置两旁，为左右声道对称设计；整个放大部分为搭棚连接，因为搭棚连接没有介质损耗，走线比较好安排，阻容元件可直接焊接在管脚上，使走线简洁而且最短，因而分布电容也最小，声音听起来更靓。机内连线见图3。为了进一步提高信噪比，输入端的连线用了优质的特佛龙信号屏蔽线，屏蔽线的屏蔽网一端接地即可，切不可两端都接地，那样可能会引起交流声。各级放大部分阻容元件接地问题一定要引起足够的重视，一定要焊接在同一接地点上，也就是发烧友经常讲的星型接地，特别是栅极电阻、阴极电阻及阴极旁路电容的接地尤为重要，两者之间不允许有导线存在，直接焊在管脚与接地点之间。因为输入管栅极电阻与阴极电阻入地点如果距离较远，两者之间对交流信号来说存在着电位差，亦即在该管的栅、阴之间加了一个交流信号源，经过后面各级放大，表现在扬声器里的噪声可想而知。为了使放大器失真最低，两声道更加平衡，在输入级及推动级放大管的阴极均未

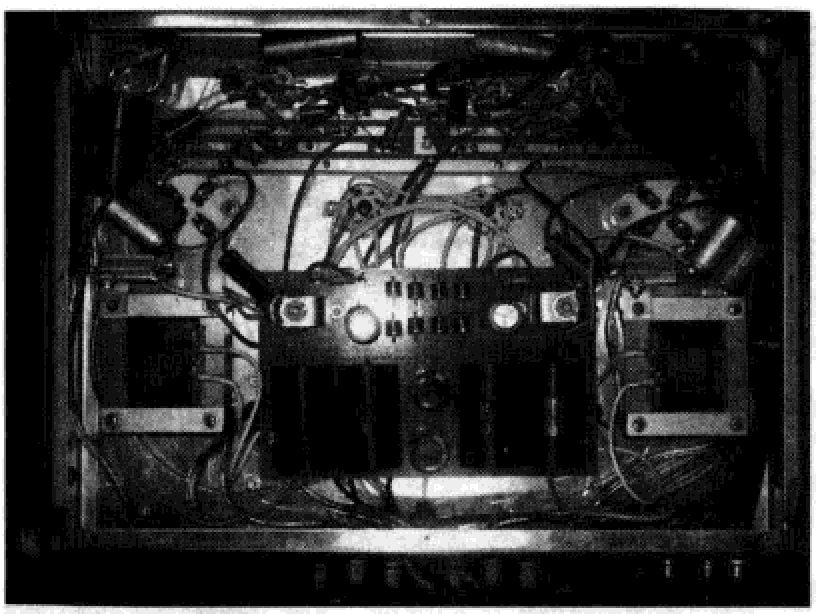


图3 功放的内部结构

加旁路电容，也就是说两级都施加了电流负反馈。同时为了确保整机的瞬态响应特性，除取消了大环路负反馈网络外，仅在输入管的阴极与推动管的屏极之间加了较浅的级间负反馈网络。从图上可以看到，负反馈电阻用到了300kΩ之大。笔者也试验过干脆取消这一网络，但失真明显增大，将这一电阻用到270kΩ，声音仍然稍暗、偏紧，有点放不开的感觉，只有加到300kΩ，声音既没有明显的失真，而且听起来鲜活、大气，非常耐听。

具体的调试前面说过，由于该电路经典、成熟，用合理的设计来保证整个电路的各项技术指标，只要所选配的元器件质量上乘，并严格照图焊接，几乎无需调整即可工作，但笔者还是对该机进行了仔细地调整。调试机器的方法有些特殊，当然先调电源，然后由后向前逐级调整，这样的好处是，因为功放级消耗电源功率占整机功率的80%以上，只有功放级大体调整后，推动级和输入级才容易调准。一些发烧友由前向后调整，有些是先不插功放管调整前级，须知这时由于负载太轻而电压居高不下，在这样的电压下调整好的工作点，一旦插上功放管其工作点将大幅下跌，需重新调整，较为麻烦。对功放级的调整，考虑到大多数发烧友（特别是刚入门的发烧初哥）都没有专门的测试仪器，笔者的做法是这样的：先初调整机，使其大体能工作，将电流表串入300B屏极，测静态电流。静态电流稳定后，给输入端送入音频信号，如此时屏流变大，说明栅负压绝对值偏小，否则相反。由于300B采用的是自给栅负压的方式，阴极电阻两端的电压值就是栅负压值，栅负压的大小取决于阴极电阻的大小。300B阴极电阻的阻值一般选取在880～1000Ω。笔者经过细调，当阴极电阻调到920Ω时，在输入端送入信号，300B屏流变化幅度最小，说明其工作点大体在屏流直线部分的中点部位，实践证明失真也最小。这时测得300B屏极对地电压为400V，屏流为70mA，阴极电压为64V。300B的管压（屏阴之间的电压）为400－64=336（V），功率计算：336×0.07=23.52（W），单端A类胆机的效率按1/3计算，即23.52÷3≈8（W）。推动级以及输入级的调试数据均标在图上，这些数据是笔者用500型万用表测量的，发烧友若用其他表测量可能会有出入，只要差别不大可视为正常。

实际听音

笔者用此功放搭配山灵S100CD机（经过认真打磨升级），三分频落地音箱（10英寸+6.5英寸+1英寸），灵敏度90dB，频响30Hz～27kHz。笔者的听音习惯也有些与众不同，喜欢在晚上，先泡上一杯碧螺春或西湖龙井，打开系统，放上自己平时最喜爱的CD光碟，坐在沙发上顺手关掉所有照明灯，闭上眼睛，细细地品尝。音乐需要的是用心灵去领会，所以无论是听邓丽君的抒情，还是听蔡琴的倾诉，丝绒般的顺滑，使人忘却了音箱的存在，恰到好处地将歌唱家和听音者融为一体。邓丽君的名盘《淡淡幽情》，将南唐末代皇帝李煜由最高权位的统治者一下子沦为阶下囚，这一特大落差造成的心理冲击，从内心发出“问君能有几多愁，恰似一江春水向东流”的哀叹，这段富含情感的千古佳作只有通过邓丽君突出中高音而又擅长抒情的歌唱才能展现给听者。她那具有磁性而又委婉悠扬的歌声沁人肺腑、催人泪下，同时使人神魂颠倒、如醉如痴。遗憾的是我们没有缘分也不可能亲自到现场去聆听这位歌手的原唱，然而300B胆机却将这段千古绝唱表现得淋漓尽致、入木三分。这时不由得使人联系到这位歌坛超级巨星的英年早逝，使人感慨万千的同时，暗暗叹息：时光无情，人生苦短。唱片放完了，人还痴呆呆地坐在沙发上继续沉浸在音乐的魅力之中，久久回不过神来。

言归正传，听古筝或小提琴等弦乐更能将演艺者的内心世界毫无保留地展现在你的面前，听弦乐独奏，连后面伴奏的其他各个乐器的方位都能明显地听出来。笔者并不擅长用语言去描绘声音，特别像300B这只被誉为胆中之王所发出的天籁之声，我只能说听300B听的就是韵味，正是这种韵味曾经倾倒了几代人，是80年来多少发烧友及爱乐者孜孜不倦追求的梦中“情人”。在20年前，听过300B声音的则引以自豪，拥有300B胆机在发烧圈内更是其身份、地位、资历以及经济实力的象征。但在今天，300B胆管在国内音响市场并不是什么稀罕之物，难怪一些资深老发烧人士叹言：现在的发烧友既幸运又幸福。我们何不借此机会DIY一番，过把300B瘾呢！

超级大理石805胆机的制作

◎代晓刚

制作全大理石功放一直是我的一个梦想（虽然这次不全是大理石），以前我曾用瓷砖做过胆机，我认为要做就做和别人不一样的胆机。以前曾制作过一台FU80胆机，但因体积太大，家里没有合适的地方摆放，所以制作这台805小胆机来替代体积庞大的分体FU80。为了减小805的体积，设计成合并机的结构。

大理石买的是下脚料，整机的面板使用了一整块白色大理石，牛（变压器）罩用的是一块绿色的大理石，所有的制作都是自己用锯子加工而成的。本人做机一直本着勤俭节约、自力更生的方针，所以这台大理石胆机做下来的全部成本都不到 1000 元。

电路原理

电路是采用网友“太大胆”兄提供的805单端电路（见图1），这个电路设计得非常巧妙，调节输出功率和屏流非常方便，但电路选用的管子本人稍作改变，选用了价廉、易得的6C5、6P3和805。

本机全部为直流供电，805灯丝滤波采用2只96000μF的电解电容，805屏压为830V，高压采用2只100μF/1000V的大油罐电容作为滤波。6P3的高压也是用了2只100μF的油罐电容。由于805是直热电子管，交流声非常不好控制，刚做好时交流声非常大，后经过两次改进，在1米以外基本听不到交流声。

消除交流声方法

降低电子管功放交流声方法有很多，本人收集到不少前人经验，如：加入负反馈可以使交流声得到抑制，反馈连线

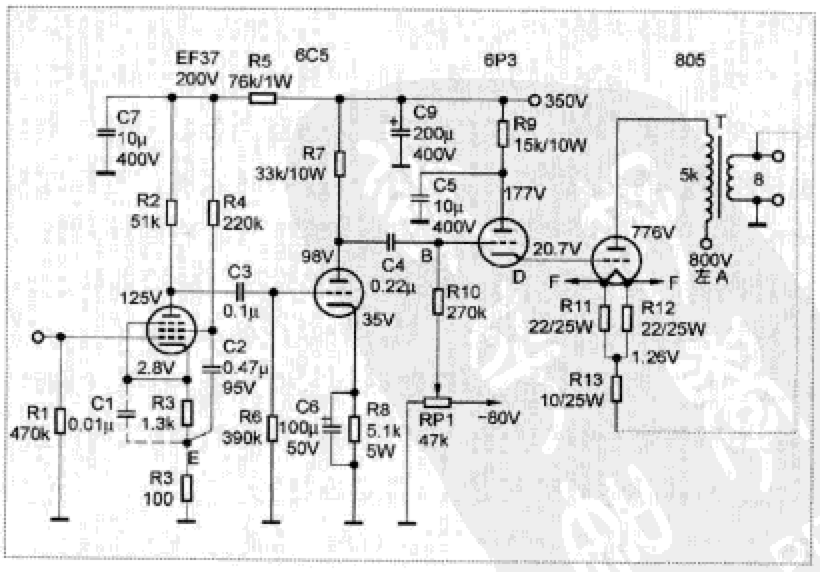
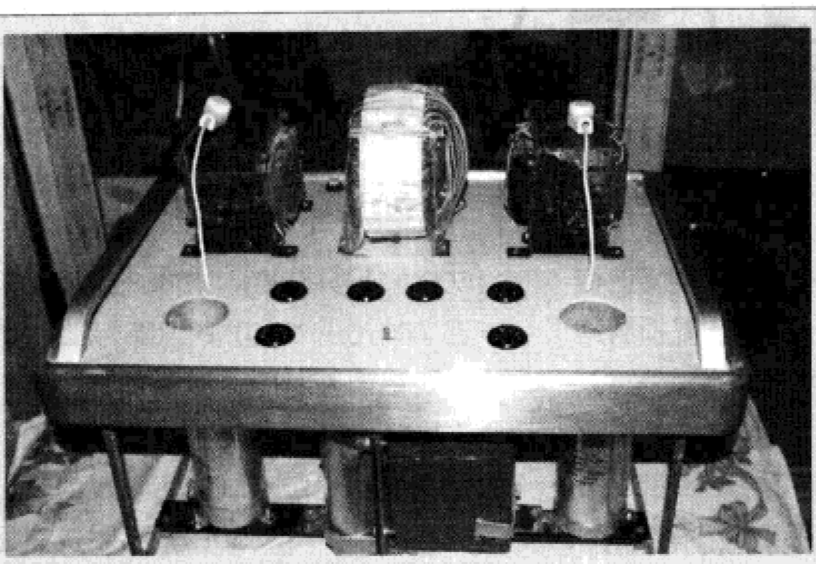


图1 电路原理


(a) 没加装牛罩的状态

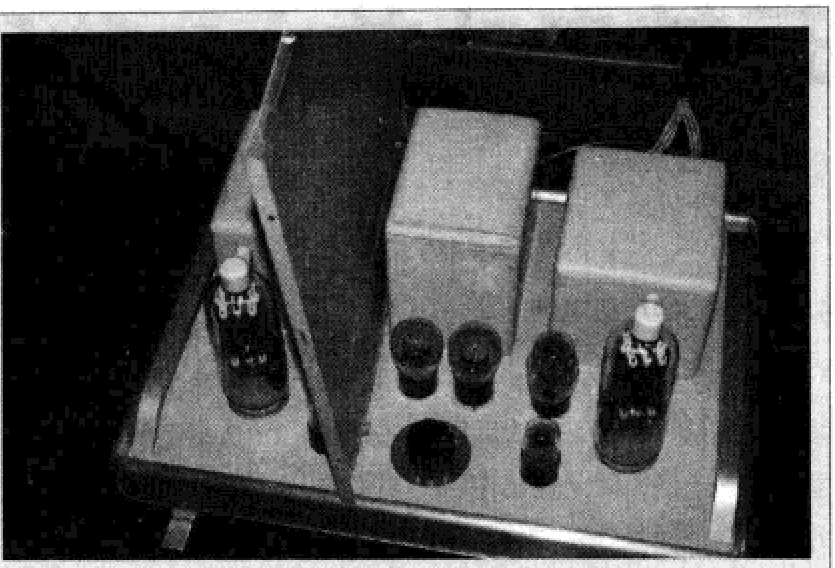

(b) 在电源变压器和输出变压器之间直接放置铁板和铝板进行试验

图2

要用屏蔽线，在输入端要一端接地，不然会出现啸叫，推挽管不配对容易有交流声，信号线的屏蔽层只能一点接地（这很重要），电位器外壳要接地等，我都一一采纳了，但是通电后还是有很大的交流声，为了消除这烦人的交流声，我先后进行了两次改造。

第一次改造

（1）由于灯丝为直流供电，于是增加灯丝滤波电容的容量，但增加电容的容量后没有起到抑制交流声的作用。

（2）依次拔下6C5、6P3、FU5各管，当拔下6C5后，交流声减小很多，由此判断交流声是由前级串入的。

（3）增加6C5屏极滤波电容的容量，但交流声没有改善。

（4）由于6C5和6P3全部为直流供电，于是将整流、滤波后的电压正极接灯丝、负极直接接到机壳，这样可以省掉一条灯丝线，并且为了美观，将所有走线全部用扎带扎起来。

改造：从变压器交流输出开始把电线进行双绞，各级灯丝分别走线（以前全部用扎带扎起来），最主要一点就是把6C5和6P3灯丝加100Ω平衡电阻接地。经过以上改动，交流声小了一点。但是站在2米以外还是能够听到交流声，拔下6C5和6P3已经都不管用了，只有拔掉805才能去除交流声。

第二次改造

（1）首先加大805屏极的滤波电容，交流声没有改善。

（2）增加805灯丝滤波电容的容量，由96000μF增加到192000μF，交流声无改善。

（3）灯丝平衡电阻换用多圈电位器调节，交流声无改善。

（4）最后用了一块计算机侧板放在了电源变压器和输出变压器之间（见图2），这时交流声马上减小了，这说明现在的交流声主要是电磁干扰所引起的。

原来是我的大理石牛罩没有起到电磁屏蔽作用，手起锤落，我把辛辛苦苦制作的大理石牛罩砸碎了，重新制作铁壳外罩大理石安装上去，交流声全无。这次改造彻底地解决了交流声问题。把牛罩铁皮焊上一根导线接地，牛罩改装全部完成。

分享实验结果

（1）将电源变压器和输出变压器之间的铁板换成铝板后交流声顿时增加，由此可见铝板对防止交流声没有起到任何的屏蔽作用。

（2）当时为了不砸原来的大理石牛罩，想到的第一个办法就是在变压器上面包了层0.3mm的铁皮，通电后交流声很大，并没有起到屏蔽作用，由此说明太薄的铁皮也起不到防止电磁干扰的作用。

（3）牛罩铁皮我选择的是厚度1.5mm材料，立竿见影，交流声全无。

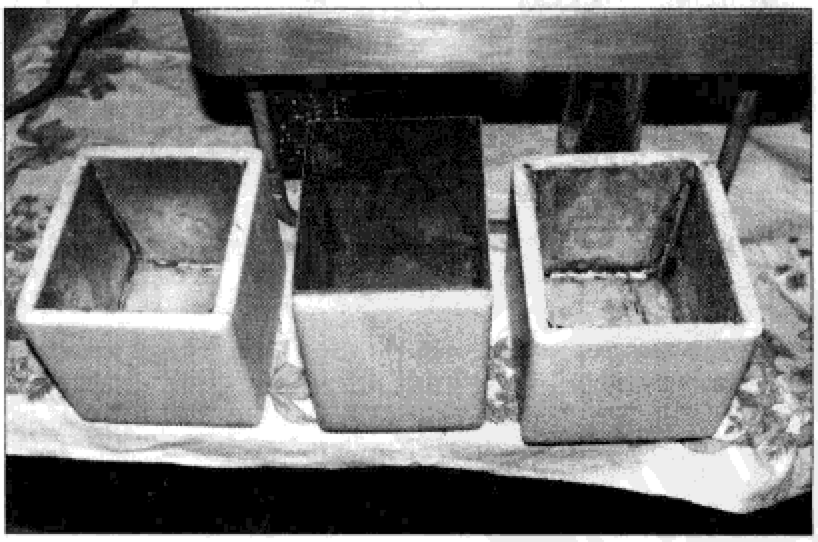


图3 制作好的3个牛罩

玩转老功放之高级篇（下）

◎梓门

4. TA-1150的后级电路

功率放大器在合并式放大器中一般称为后级，TA-1150的后级电路是典型的OCL电路，即无输出电容的功率放大器电路，而且是差分输入级的OCL电路，即反馈信号和输入信号分别由独立的晶体管负责的输入电路，负责信号输入的是VT301，负责反馈信号的是VT302。因为信号从C301输入到后级以后，一直到输出端再没有信号耦合电容，因此这样的放大器也被称为直耦放大器。VT301/302构成电路有时候也称为差分倒相级。

VD301虽然只是一个二极管，这里却身兼两职：一个主要的作用是进行温度补偿，因为这样的二极管本身是负温度系数特性，即温度升高，内阻增加，自身的压降会提高，倒相级的放大能力就会因为电源电压的降低相应降低，VD301的另一个作用是抑制关机冲击声，关机冲击声一般是由于正、负电源的下降速率不同而导致在关机瞬间输出中点偏移，而使扬声器中发出“噗”的声音。

VT303是预放级，是一个共发射极的放大器，交流负载是R307，因此这一级放大器的频响在理论上是平直的，目的是给对称的输出级提供足够的电平信号。

VT304是DC（直流）偏置级，目的是为对称的输出级提供近乎对称并且稳定的直流偏置电平，输出端的直流电位是否能够接近为0V，主要由这一级决定，调整RP301可以调整输出端的直流电位。当然，它的主要作用还是决定输出级的静态工作点，即静态工作电流。具体到TA-1150及其TA-1150D，调整RP301，使输出级发射极电阻（R316~R319）的压降为20mV即可。切记调整时的速度要慢，尽量不要连接扬声器或者连接一个假负载，如10Ω左右电炉丝（假定功放的输出阻抗为8Ω，TA-1150的输出阻抗参见表4所示的技术规格书），将万用表置于DC的毫伏挡进行测量。

VT305与VT306是推动级，目的是给输出级提供足够的驱动电流，因为NPN与PNP管的放大能力并不对称，PNP管偏低，线性略差，因此VT311与VT306构成了达林顿结构，以提高线性放大能力。

VT307、VT309 和 VT308、VT310就是对称的输出级，这是两管并联的输出级，即VT307、VT309和VT308、VT310是两两并联的，目的是提高电流输出能力。如果有电流规格更大的晶体

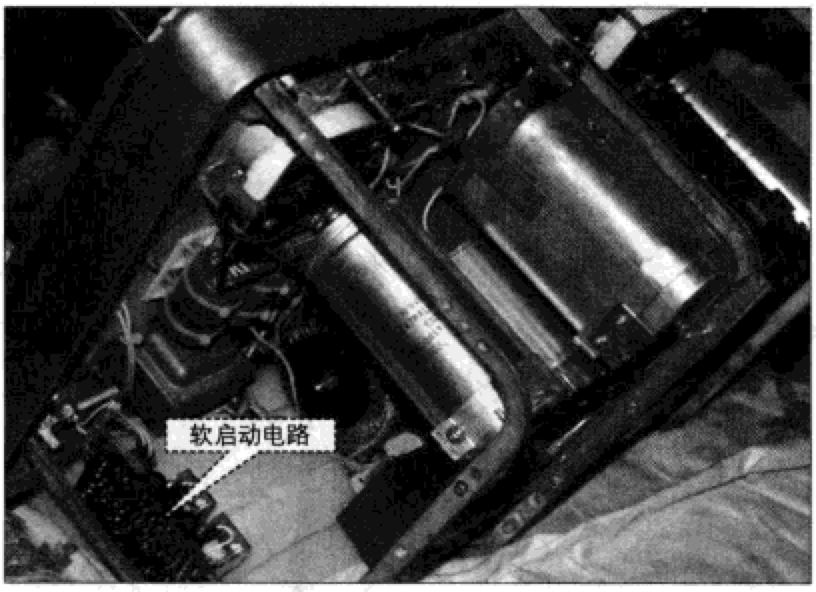


图4 功放的内部结构

由于大理石牛罩没有防止电磁辐射的能力，所以我的牛罩全部经过了改装，边上的两只输出牛罩是在里面加上了铁板，再用电烙铁焊接上。中间的牛罩被我给砸了，然后重新做了一只牛罩（见图3），在前面和顶部贴了两块大理石（现在很后悔，当初真的不应该砸）。

以前做过好多胆机，从没有把电磁干扰放在眼里，做胆机时还选用过铝制牛罩和不锈钢牛罩，也没有见产生过电磁干扰，而且做出的胆机的信噪比也非常地高，是不是因为这些电源变压器功率小，致使电磁辐射也小呢?

由于本功放的电源变压器的功率比较大（500W），因此，我还加装了软启动电路（图4中的蓝色印制电路板），软启动电路的作用是在插上220V瞬间，电压由110V缓慢升为220V，这个过程会持续4秒，从而杜绝了在插220V电源时的触电保护器跳闸（在插大功率变压器时经常会跳闸），也杜绝了接入变压器时220V所产生的瞬间“嗡”声。

经过一年的努力，大理石805胆机胜利完工，声音还是可圈可点的，豪放大气、宽松自然，还原现场能力超好，音乐表现力非常全面，声音非常有现场感．低频结实有力，给人以豁然开朗的感觉。

管，就可以不进行并联。并联的好处是有利于降低热阻，有利于提高电路的稳定性，但是不利之处是并联不如单管的一致性好，又不利于电路稳定性的提高。在电路设计时究竟采用何种方式，有成本因素，也有设计习惯的问题。当然，如果要求功率输出很大，而单个晶体管在当时的最大电流规格不能满足要求，并联似乎就是唯一的选择了（如果工作电源电压不允许提高的话）。

CB1 是个常闭触点的氖管，这里用作断路器，当输出端短路时，保护输出级的晶体管不至于因为电流过大而损坏。这种保护电路应该说是非常少见的，而且保护的重点是输出级的晶体管，对扬声器几乎没有保护作用。

这种氖管和老式日光灯中的启辉器的工作原理非常相似，两个常闭触点中的一个是支撑在双金属片上的。所谓双金属片，就是紧贴在一起的、热膨胀系数明显不同的两种金属薄片。当温度升高时，因为膨胀系数不同，双金属片会发生弯曲。正常工作条件下，常闭触点是闭合的，触点接触电阻比较低，相当于回路中串联了一个很小阻值的电阻。如果输出端发生了短路，流过常闭触点的电流会大大增加，引起双金属片发热而弯曲，带动常闭触点脱开，形成开路状态，与两个触点并联的电阻丝就会因为发热而发光，同时因为电阻丝的电阻与触点的接触电阻相比要大许多，回路的电流就会下降到正常水平。而氖管发光的同时也提醒我们，电路短路了！

图13所示电路中还包含了输出切换电路和电源电路，这部分电路实际上位于音调电路板上，或者换言之，它们并没有和功放电路在同一块电路板上。

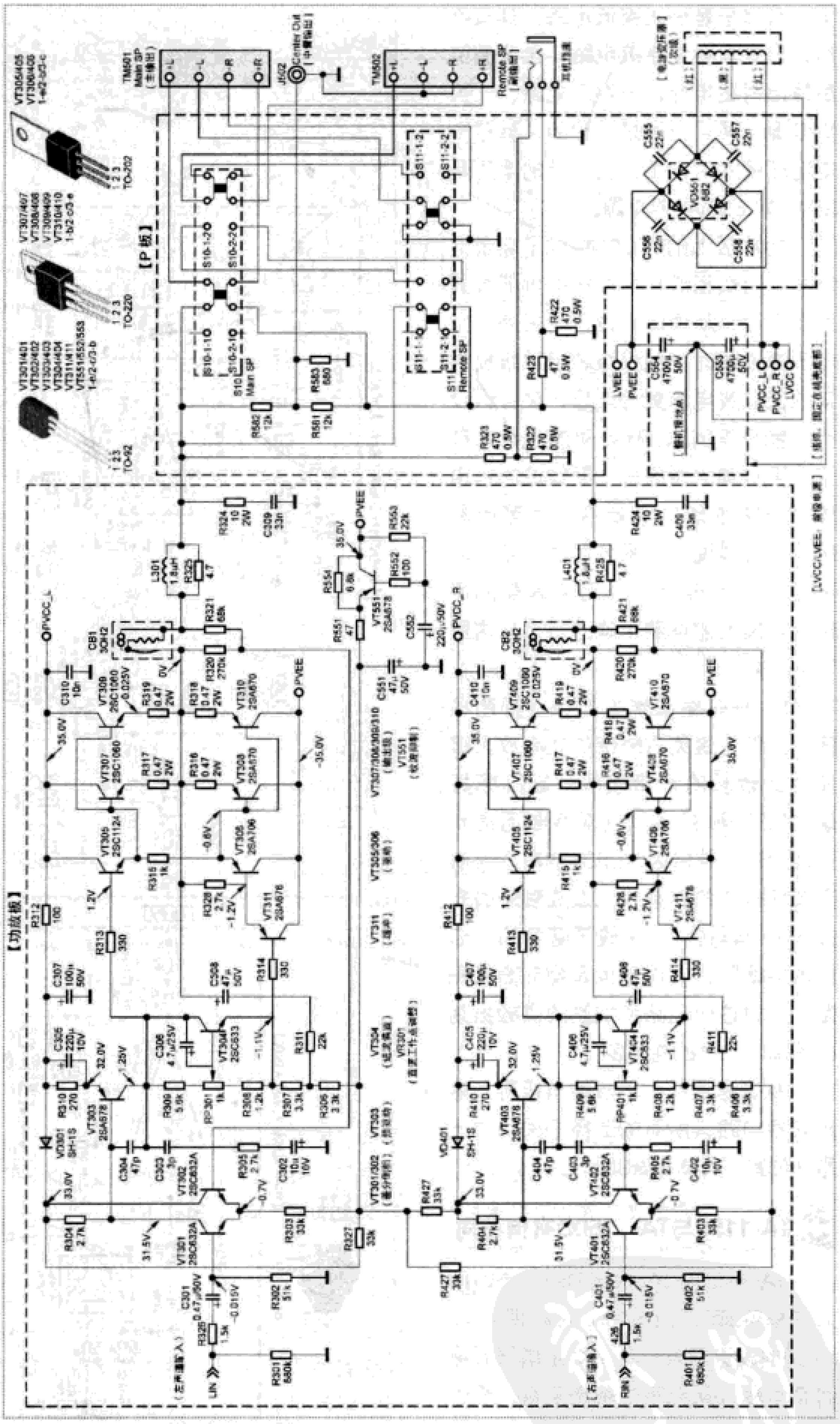


图13 SONYTA-1150的功率放大电路

输出切换开关允许这台功放同时连接两对音箱，通过开关来切换。更为重要的是，功放输出端没有配置基于继电器的输出保护电路，在功放开机的条件下，可以关闭切换开关来避免开机时接入的音源设备对扬声器的冲击。

电源部分只画出了电源变压器次级及其以后的电路，原因是由于初级及其之前的电路比较简单，而且针对不同区域市场的产品，这部分电路有所不同，篇幅所限，就删繁就简了。

电源部分的整流电路（VD551）

乍一看似乎是桥式整流电路，其实不然，它是双全波整流电路，全波整流后输出两路电源，一组正电源，一组负电源，两组电源是对称的。标称市电电压输入时，正、负电源的电压是35V，即±35V的双电源。

功放板上的VT551构成了电子滤波器，为倒相级与预放级提供低纹波的负电源。从理论上说，用另外一组电子滤波器时为倒相级和预放级提供正的低纹波电源更为理想，为什么没有，就只有问SONY公司的设计人员了。可推测的原因是，低纹波的正电源对电路性能的贡献率几乎可以忽略，有资料说，日系公司的产品，从不会为产品多用一个无关紧要的零件，如果上述推测正确的话，从这里可见一斑。

L301是输出端的抑振（抑制振荡）元件，避免宽频带的功率放大级加上比较长的音箱连线引起高频振荡，R325则是高频（对音频而言）补偿元件，补偿因为L301的串入而对音频信号中的高频成分造成额外的衰减。R324与C309构成了著名的“茹贝尔电路”，其作用也是抑制高频振荡，不过这个电路所抑制的高频振荡的频率比L301的高得多。

从音源选择到功放输出级再到输出切换电路，所有的选择开关均位于默认位置，具体如表3所示。

TA-1150与TA-1150D有何不同

TA-1150与TA-1150D的上市时间大约相差2年，TA-1150D可以视为TA-1150的改进型号，算不算是增强版或者豪华版，从电路的差别来看，恐怕就是见仁见智了，因为两者的差别实在是不算大。

首先两者的金工部分看不出来差别，即机壳的材质与结构乃至颜色都是一样的；其次是功能相同，包括输入/输出端口；其三是电路布局相同，

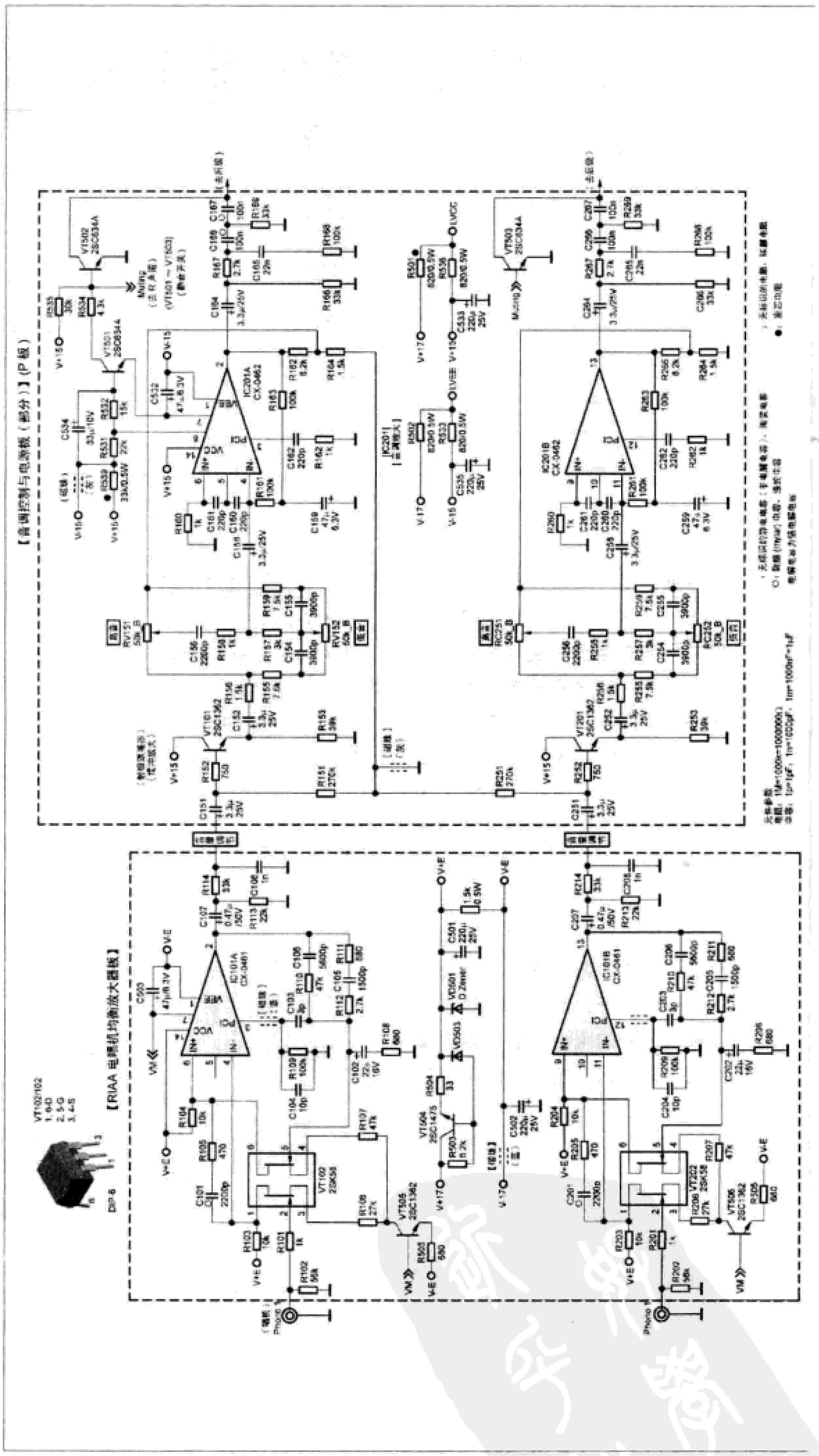


图14 SONYTA-1150D的前置放大电路

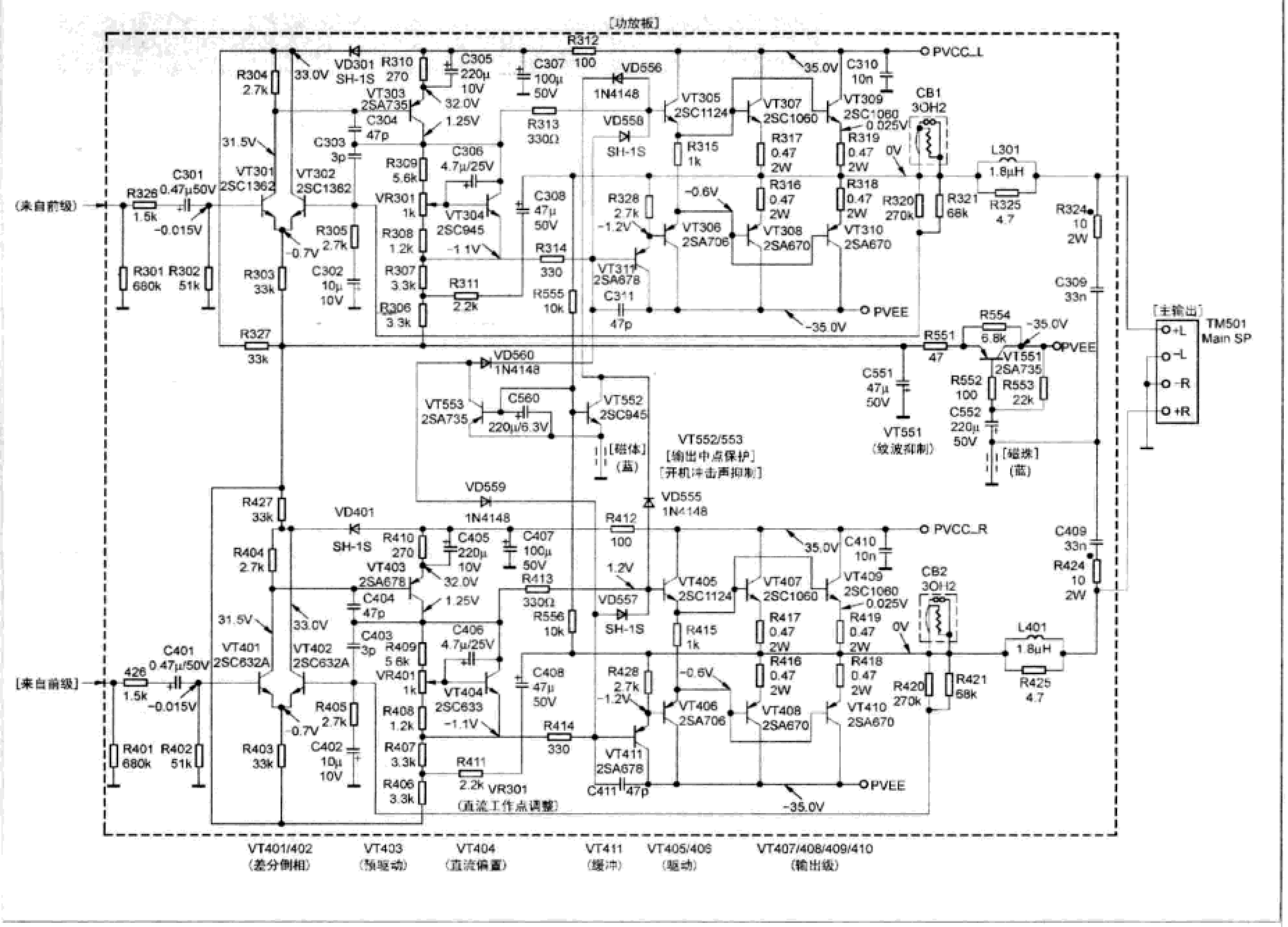


图15 SONYTA-1150D的功率放大电路

即元器件在印制板上的位置以及电路板在机箱中的位置与安装方式，其四是电路元器件的装配方式相同，工艺略有差别，可以佐证的差别是，TA-1150前级部分的印制板的铜箔面、元件的引脚，尤其是电阻的引脚位置覆盖着树脂类的材料，似乎是为了某种目的进行的密封，比如防潮或者绝缘之类的原因。

当然两者也有不同，那就是具体的电路，最大的不同在唱放，增加了由J-FET（结型场效应管）构成的差分输入级，提高了唱放的输入阻抗。同时电源电路也有所加强，增加了正电源的电子滤波器，其次是音调电路的静噪控制电路有所加强，其三是功放部分的静噪也有所加强，其四是部分元器件的型号有所调整，其五是一些细微的改变。

因为两者有很大的相似度，这里就将所有的选择开关和音源选择部分的一些功能简化了。同样是篇幅的原因，将整体电路分成两部分，即前置放大电路和功放电路，简化的所有功能开关的默认位置如表3所示。

TA-1150D的前置放大电路如图14所示，音量控制与等响度控制电路简化了。

与图8相比较，最明显的区别是每个声道增加了一个双J-FET，从封装上很像IC，如常见的光耦。J-FET的输入阻抗远高于双极型晶体管，由J-FET构成的共源极放大器与双极型晶体管构成的共发射极电路相当，N型的J-FET在功能上与NPN的双极型晶体管相当，差分放大器是为了隔离输入信号与反馈信号。一个不明显的区别是，对输入信号而言，图8所示的是正相放大器，输入信号从IC101的正相输入端输入，而图14中，IC101被配置成了反相放大器，输入信号经过VT102放大后输入到了反相放大器。运放被配置成正

相或者反相放大器，在性能上一般并无可察觉的区别，但是共源极放大器属于反相放大器，IC101配置成反相放大器，输出的信号与VT102的输入端就是同相的，这样一来，TA-1150与TA-1150D的唱放电路虽然有所不同，但是唱放的输出信号的相位是一样的。

TA-1150D的另一个改进是增加了由VT504构成的电子滤波器，降低了正电源的纹波。

TA-1150D的第3个改进是增加了本机开机静噪电路，静噪控制管是VT505和VT506。

TA-1150D的第4个改进属于细微末节，那就是在负电源的供电回路中增加了一个磁珠，磁珠是用来抑制数兆赫兹乃至数十兆赫兹的高频振荡或者对其进行滤波。在模拟放大器中，这种抑制或者滤波作用对电路的改进很难令人察觉，除非是被配置成宽带的放大器有高频自激的倾向，具体到TA-1150D，可能与J-FET的采用有关。

与图10相比较，音调电路的不同主要是缓冲放大器所用的晶体管型号改变了，即VT101，对比图8与图14，不难发现这一改变，至于二者孰优孰劣，从一般的技术规格并不能发现明显的区别，性能的改善也同样难以发现，抑或有成本的因素在内。

另一个改变与唱放电路类似，同样是增加了若干磁珠，型号从颜色外观上来看是一样的，除了负电源回路，接地回路也增加了一个，令人稍稍费解的是，两个声道并不对称，R164通过磁珠接地，但是R264却没有，或许与电路布局有关。

至于元件品种的改变，如炭芯电阻、聚酯电容之类，TA-1150与TA-1150D是否有差异，因为笔者手中并没有TA-1150，因此无法佐证。

TA-1150D 的功率放大电路如图 15 所示，输出切换电路简化了。

与图 13 相比较，最明显的区别之一仍然是晶体管型号的改变，部分改变用阴影部分标识了，浅色阴影是型号改变了，深色阴影则是新增加的元器件。

另一个明显改变是增加了输出中点保护电路，正、负输出中点偏移保护分别由 VT552、VT553 担当，两者加入也抑制了本机的开关机冲击声，实际效果显示，TA-1150D 的开关机冲击声几乎不可闻，至于 TA-1150，则不得而知。

TA-1150D的功率放大电路也增加了两个磁珠，这两个磁珠的颜色与前置放大电路不同。

表4所示的是TA-1150的技术规格表。

表3 开关功能状态表

编号	功能		默认状态	
	机身印字	中文参考释义	机身印字	中文参考释义
S1	FUNCTION SW	功能开关	PHONO-1	唱机1
S2	MONITOR SW	监听开关	SOURCE	音源
S3	MODE SW	模式开关	2CH	双声道
S4	LOUDNESS SW	等响度开关	ON	开
S5	TREBLE SW	高音转折频率	2.5kHz/5kHz	2.5kHz
S6	BASS SW	低音转折频率	500Hz/250Hz	500Hz
S7	HIGHFILTER SW	高通滤波器开关	OFF	关
S8	LOWFILTER SW	低通滤波器开关	OFF	关
S9	PRE/POWERAMP SW	合并/分体开关	NORMAL	合并式
S10	MAINSPEAKER SW	主输出开关	ON	开
S11	REMOTESPEAKER SW	副输出开关	OFF	关
S12	POWER SW	电源开关	OFF	关

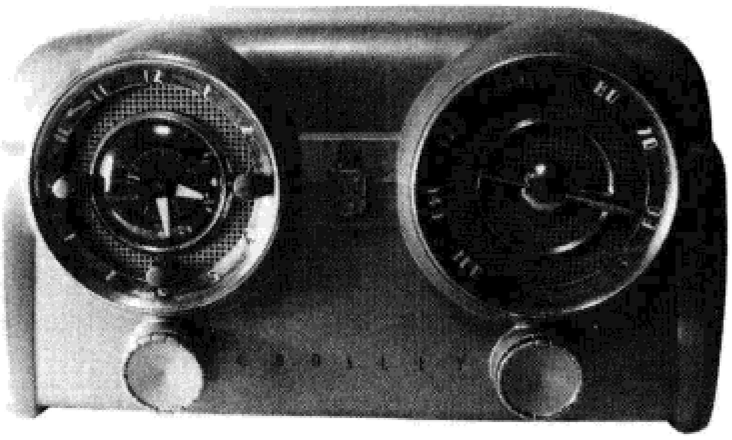
表4 TA-1150的技术规格（摘自TA-1150维修手册）

技术参数名称与项目		技术规格	基本技术条件与备注
额定输出功率	音乐功率	100W	R_L=8Ω，立体声
		150W	R_L=4Ω，立体声
	RMS功率	35W	R_L=8Ω，THD<0.2%，f=1kHz，立体声
		40W	R_L=8Ω，THD<0.2%，f=1kHz，单声道
		30W	R_L=8Ω，THD<0.2%，f=20Hz~20kHz，立体声
		40W	R_L=4Ω，THD<0.2%，f=1kHz，立体声
		55W	R_L=4Ω，THD<0.2%，f=1kHz，单声道
THD（总谐波失真）		< 0.2%	f=1kHz，额定输出功率
IMD（互调失真）		< 0.2%	f=1kHz，60Hz:7kHz=4:1，额定输出功率
功率带宽		8Hz ~ 35kz	测试方法依据IHF标准
SNR（信噪比）		> 110dB	输入端接地，A-计权
前级频率响应		15Hz ~ 80kz	所有输入，频率响应允差：±2dB
RIAA曲线允差		±1dB	唱机输入
前级输入灵敏度	唱机	2mV	输入阻抗：47kΩ，SNR>70dB，A-计权
	其他	140mV	输入阻抗：50kΩ，SNR>90dB，A-计权
前级输出灵敏度	录音	140mV	输入阻抗：10kΩ
前级输出灵敏度	线路	800mV	输入阻抗：2.7kΩ
前级输出灵敏度	中置	800mV	输入阻抗：680Ω
音调控制范围		±10dB	
电源消耗	北美版	180W	美国和加拿大版本，120V AC
	欧版	250W	AEP和UK版本，110V~240V AC选择开关
	本土版	120W	110V AC
外形尺寸		400×149×316	宽×高×深，单位：mm
净重		8.3	单位：kg

鉴赏与收藏

◎陈祖德

有一双漂亮大眼睛的收音机——美国CROSLEY收音机



当我第一眼看见这款CROSLEY D-25GN收音机时，就被它完美的工业设计所吸引，左右对称的两个圆盘像一双大眼睛，充满魅力。60年前的设计产品到现在仍然显得未来感十足。

这是一款用5个电子管设计的单中波波段带时钟的收音机。外壳是用胶木一次成形，壳的表面喷上油漆，左面的圆盘是一个由电机带动的有定时开、关机功能的时钟，右面的圆盘是一个中波波段度盘，两个圆盘大小一样，外表面镀金的圆盘远远看去就像一对大眼睛默默地注视着你，机器还没有打开收听，你就已经被那双大眼睛融化了……

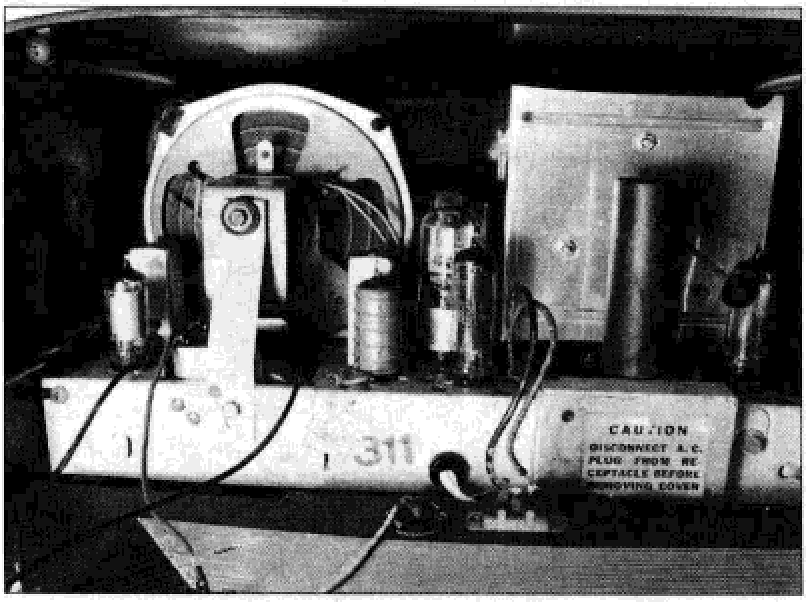
这款收音机是由美国CROSLEY公司在1952年生产，5款系列产品功能材料相同，区别就是颜色不同，型号D25WE是白色外壳，D25BE是蓝色外壳，D25CE是灰色外壳，D25GN是浅绿色外壳，D25MN是深红色外壳。这套漂亮的机器一直是收音机收藏者心仪的对象，直到现在，国际市场的拍卖价格都不便宜。

打开机器的内部，收音部分是由12BE6、12BA6、12SQ7GT、50C5、35W4共5个电子管组成的超外差式电路。由于机器内部容积很小，所以没有用电源变压器，美国电压110V、60Hz，而5个电子管子的灯丝电压串联正好用于110V电压，有一段时期这种没有变压器的机器非常时兴。收音机的天线线圈做在了机器的后盖上，用方形铜线做成蜘蛛网状贴在机盖上，既节约了机内空间又保证了接收效果。

这款收音机最巧妙的设计是扬声器放在度盘后面，既保证了声音能从机器前面发出来，又兼顾了设计上的统一，别有韵味。

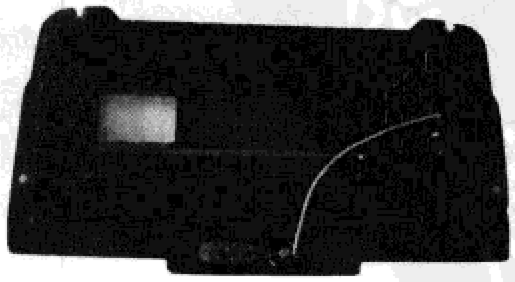
这台收音机是朋友从美国带来送我的，回来后经过简单清洁就试机了。尽管60年的岁月在它身上留下了痕迹，但声音依然完好如初。机器用的材料和元件都非常好，收音部分的表现非常出色，只是由于中国电源的频率与美国不同，所以时钟是走不准了。

很多看过它的人都对它那双漂亮的大眼睛留下深深的印象。



内部结构

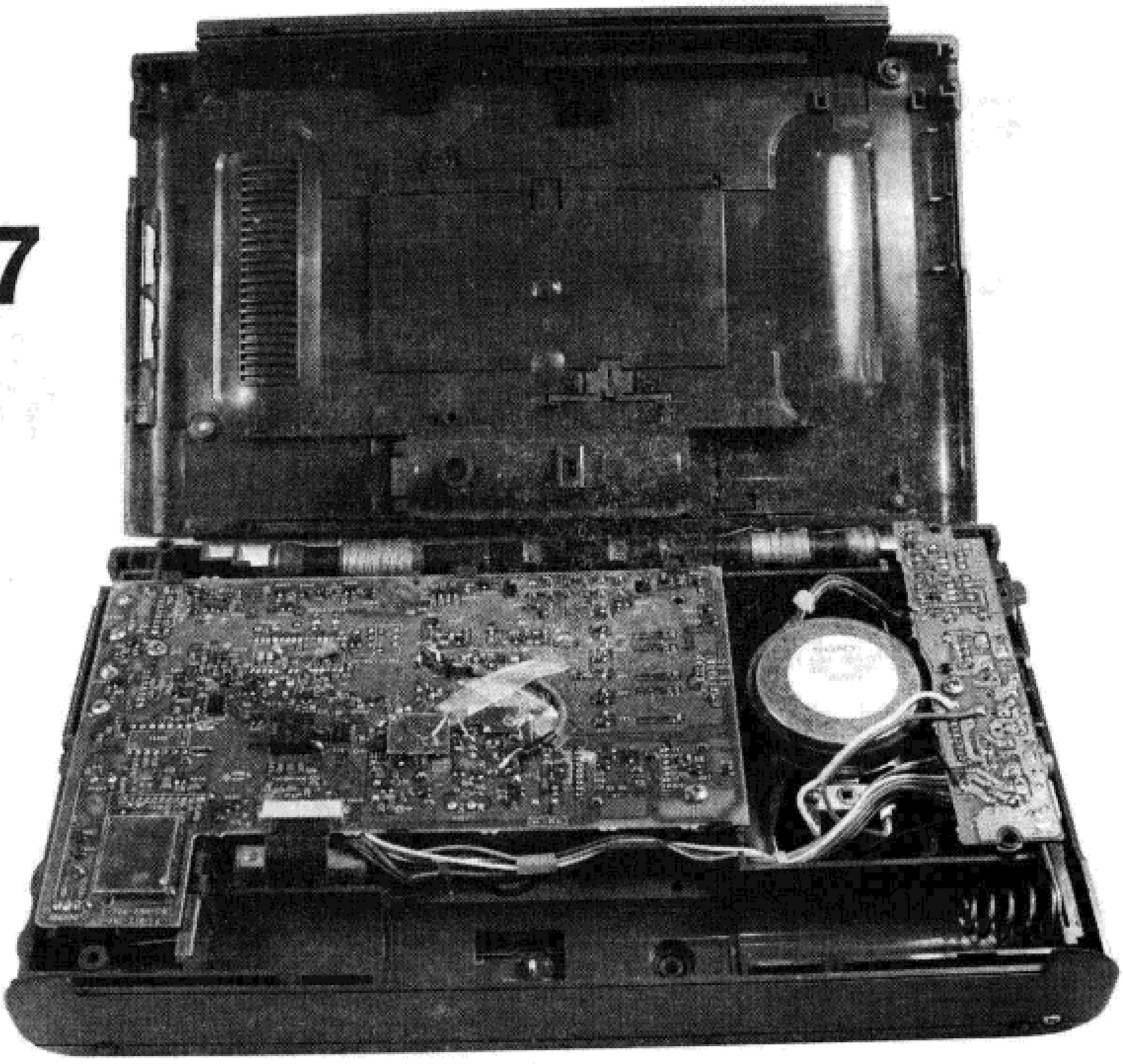
左度盘　右度盘



后板

维修 SONY SW-77 收音机手记

◎肖小春



维修使用的主要工具和仪器

- HITACHI V-1065A示波器
- FREQUENCY COUNTER T213G频率计
- TRIO SM-301 FM信号发生器
- TRIO SG-402高频信号发生器
- HAKO 700台式吸锡泵
- IDEAL61-362数字万用表

我喜欢收音机，玩收音机42年来，帮朋友修理过不少收音机，在这之中，SONY SW-77收音机算是比较难对付的，在此，我将这款收音机的修理过程呈现给大家，希望与玩家、修机的同行进行交流。

这台SONY SW-77收音机拿到我面前时已无电池盖板与后撑支架，前、后的固定螺丝也非原配，更要命的是此机经历好几个人之手，接收板简直是一塌糊涂，特别是接收板的元件面被电解液腐蚀得一片狼藉。IC501~IC504及IC402被补焊过，那手法极不专业。

通电，主板能显示字符，打入FM与AM频率，无任何反应。打开机壳（图1、图2），调到FM102.5MHz（本地电台频率），测FM本振变容二极管的工作电压，即Q502的G极电压（图3），电压为12V（FM状态正常时应该为3~6V），这情况应该是电压没被Q503管下拉所致。往前检查Q501管子完好，再往前追查锁相集成电路IC501（PLL），发现其7脚（PLL输出端）没与电路板连接上，补焊后情况依旧。再查IC501的1~4脚，手拨打码转轮信号，输入端有波动脉冲，CPU控制信号基本正常，再测IC501各引脚电压，发现10脚电压与图纸所标不符，查出是该引脚的印制板连线断路了。连接好后通电，Q502的G极端变为0.7V，测管子源极，电压为0.9V，奇怪之极！是Q502恒流源管子损坏造成工作电流过大吗？挑起微封装管Q502的源极，升压送来还是12V。连接回Q502管的源极，又下降为0.9V，查印制板连线到升压盒，这段连接完好。

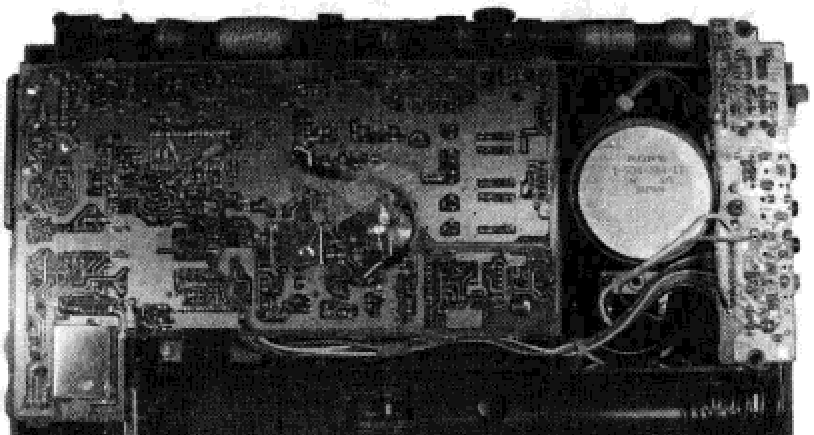


图1

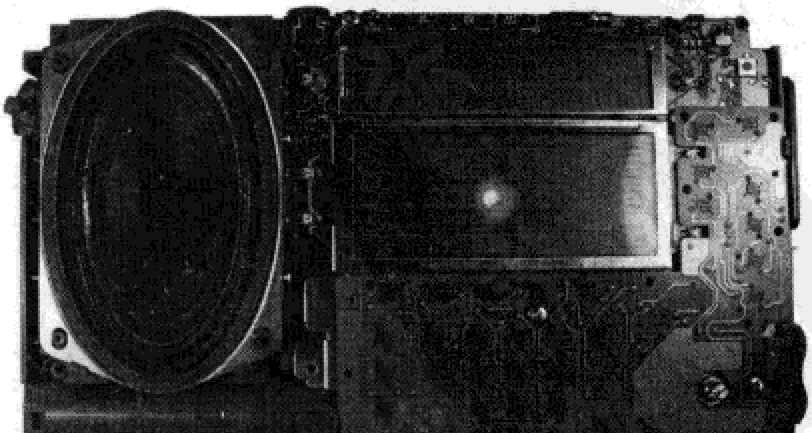


图2

打开5~12V升压屏蔽盒，摸升压转换管Q702没一点热度。第六感觉应该不属电流过载问题，用示波器探头接Q702管的c极，它串接到振荡供电LC滤波的C704正极（图4），其锯齿波的峰峰值高达12.3V（图5）。

明显是电解电容C704（22μF）不良引起的。更换电解电容。一切正常，此时再测，其峰峰值为123.6mV（图6），在FM频段能听到声响了！

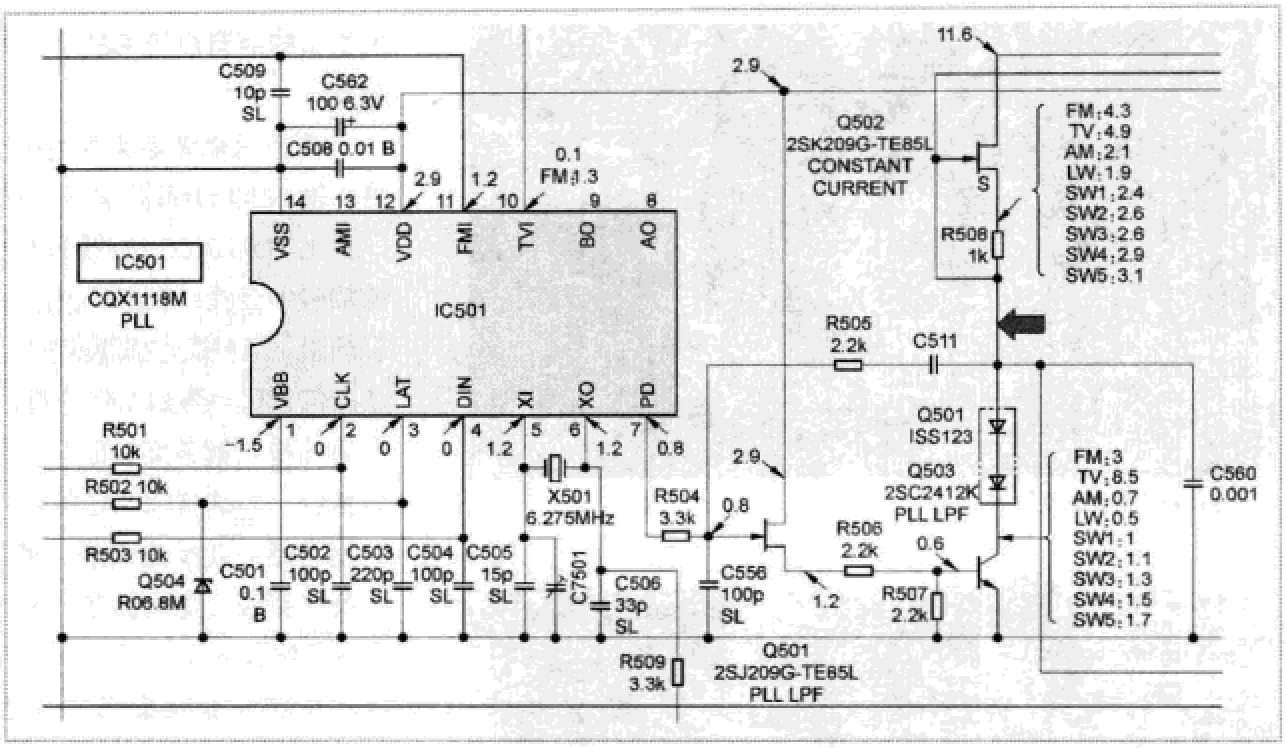


图3

有了信号，再调到FM的其他频率，或进行开、关机操作时，机器却时好时坏，不大稳定。将探头接到IC2的15脚，发现FM不工作是电压切换开关引起的，正常时IC2的15脚是0V，不正常时是5.2V。FM工作电源切换开关是由IC3锁存器与IC2译码器构成。查与CPU电路板连接的各条信号线，都连接完好。由于相关电路板都被电解液腐蚀了，怀疑故障是电路板绝缘不良引起的，拆下IC2和IC3，将底板认真、彻底地清洁后焊回，故障排除，证明判断处理正确。

接着处理AM接收问题。在AM状态，调到本地电台1080kHz频率，只听到噪声一片，无信号。测Q512的G极，电压为0.8V(正常2.1V)，说明是PLL锁相环电路没进入闭环状态。测IC503的8脚，无振荡信号。往前查Q510的漏极，有信号。仔细检查，发现印制板与电容C519之间断裂，连之，IC503的8脚有信号，但AM1080kHz频段还杳无音信。再测IC501的11脚 （AM PLL注入端），无信号，再查，是Q507管的印制板穿孔连线断了。连接好（图7），IC501的11脚也有信号了。但1080kHz频段还是只有噪声。奇怪啊！电路已全部检查过了，再查IC503的8脚，怎么又没信号了？在查找电路过程中，示波器表探头刚触探到Q510的G极，本地的1080kHz电台信号来了，并且几乎每回开机都要触碰这地方才会工作，这说明本振工作处于启振的临界状态，需外部触碰下才能工作。因高频振荡电路板有电解液污染，怀疑是这里电路板绝缘不良，使得整体电路Q值降低，难以启振。将这部分电路作清洁处理（图8），再开、关机，AM/FM开机与频率转换时信号都稳定了。

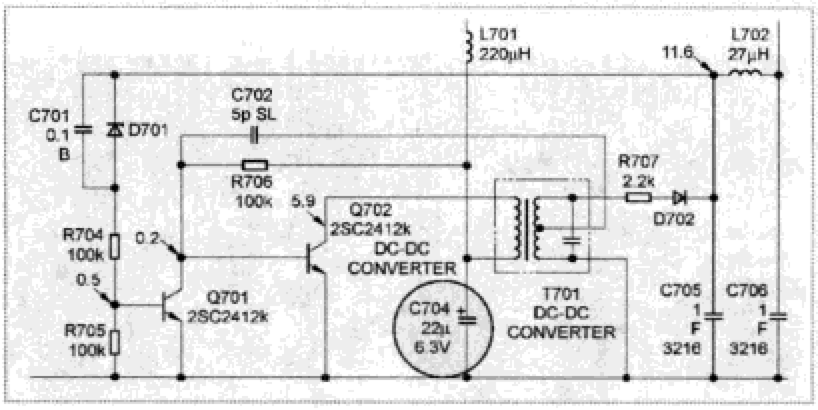


图4

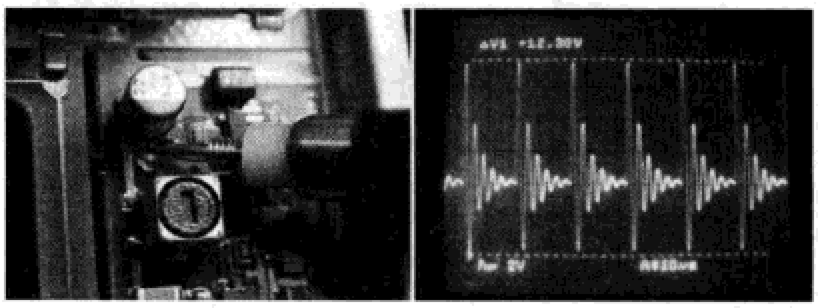


图5

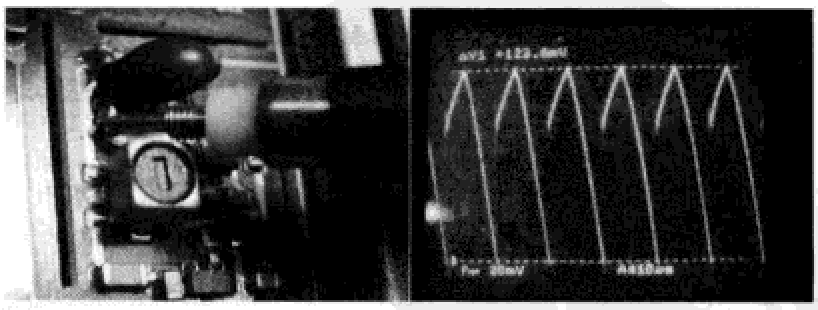


图6

接收信号通道处理好后，才感觉到这台机器发出的声音是多么的难听，声音不单小还发哑（失真），所以将IC405功放周边电解电容全部更换成新的，声音立马恢复正常，美得不得了！

按常规，久未通电使用的机器都要连续通电几天试机，

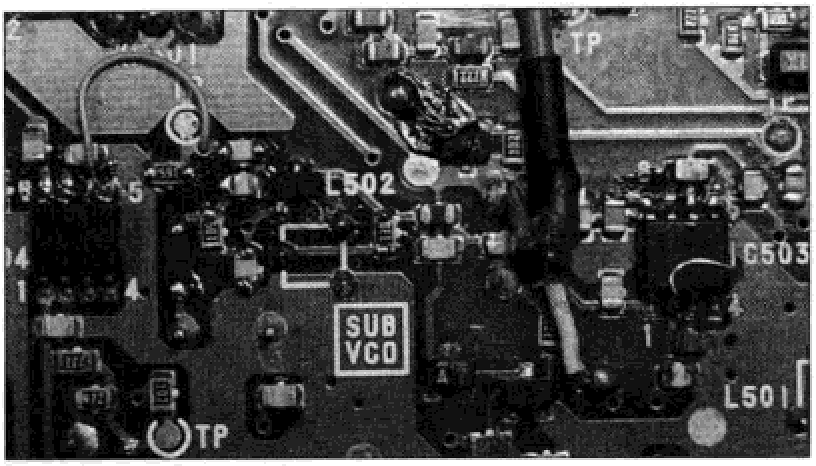


图7 连接好印制板的连线

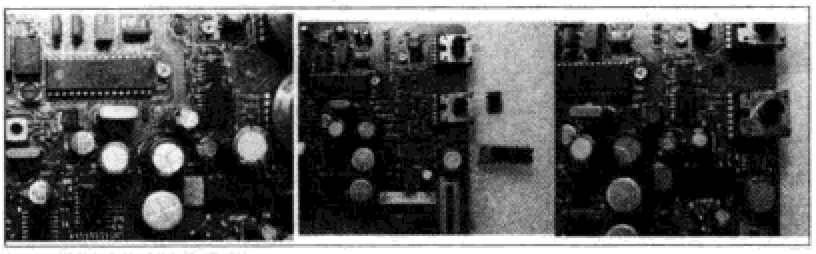


图8 清洁后的低放电路

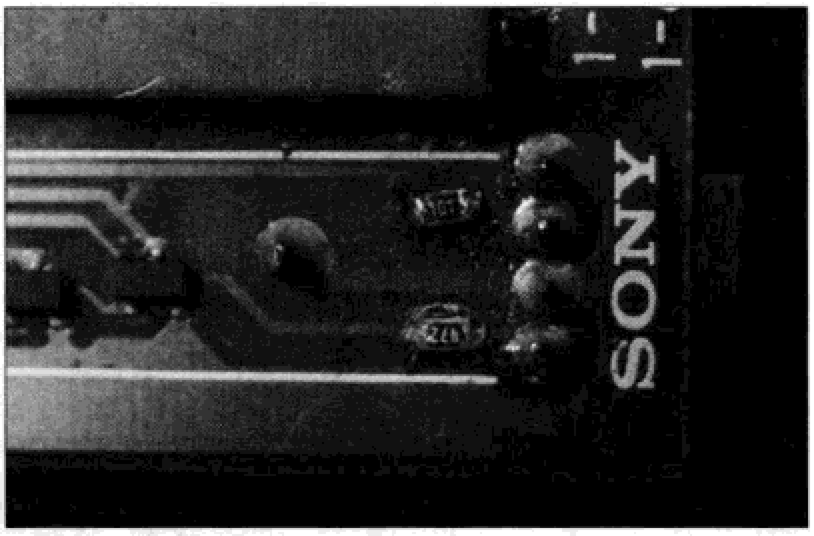


图9

在通电近40小时后，突然发现机器声音变得不美了，AM/FM接收信号倒还正常，用手接近机器，特别是后部，还会感应出强烈的交流声，电位器拨在高端更明显，低端就好些，奇怪啊！用手接近功放IC附近也很明显。在查找故障过程中，发现左、右声道音量电位器中间串接的4.7kΩ电阻两端，竟被前任维修员左边接100Ω电阻，右边直接就用导线给短路了（图9）。

看来这是个久病缠身的老“家伙”了，之前曾有人用这手法来减轻这个现象。将这短路导线去除后，感应现象在电位器最低端变得非常强烈。按前人的维修思路来考虑，想必这情况应该是电路板漏电引起的。我未按电路逐级查找，将IC402与功放IC405，及已焊上的新电解电容全部拆除，底板作彻底地清洁处理。再将这些元器件焊回，噪声现象减弱了些，但未彻底消除。仔细与正常SONY SW－77收音机对比，所发出的声音没正常的那么大，低频的“嘭嘭”声也很弱，纳闷？

看来只能老老实实地执行常规步骤，打开音频信号发生器，输入200Hz音频信号，从IC405功放开始逐级往前查找，一直上溯到IC403 FM解码输出端都还是正常。改用镊子再往前触碰地查找，在IC402模拟开关的出入引脚（15、2脚）发现问题，15脚比2脚衰耗许多！用万能表表笔触碰10脚时，感应信号极为强烈，仔细查这连线走向，哦，这IC底板1的连线通孔被电解液腐蚀断了，使得模拟开关IC402的10脚控制端腾空了。这样COMS器件控制端腾空呈现在高阻状态，所以稍有感应就反应强烈。懒得再拆焊这IC402了，外部补焊一条航空线，整机状态正常！再连续工作48小时，ok！可将它送还物权人了。

总结：此次维修一共处理断线4处（人为），底板绝缘不良2处。电解电容10来个，改回被瞎整的电路2处（人为），主要问题有以下几点。

1. 音频电路前级被电解液腐蚀，造成声音变差。前期的维修者未做到位的清洁处理，而却乱改电路，使故障复杂了。

2. 接收电路所需的5~12V变换器的振荡滤波电容漏液后，其容量严重不足，使PLL电路供电负载能力下降，前期维修者误判断是PLL电路问题而乱拆卸PLL电路各级元器件。而前级工作控制切换电路的漏电问题倒是其次因素，主要是误判处理加大了故障范围。

3. 自己在处理低放开关切换感应故障时受惯性误导，未按规矩步骤查找，结果走了段弯路。

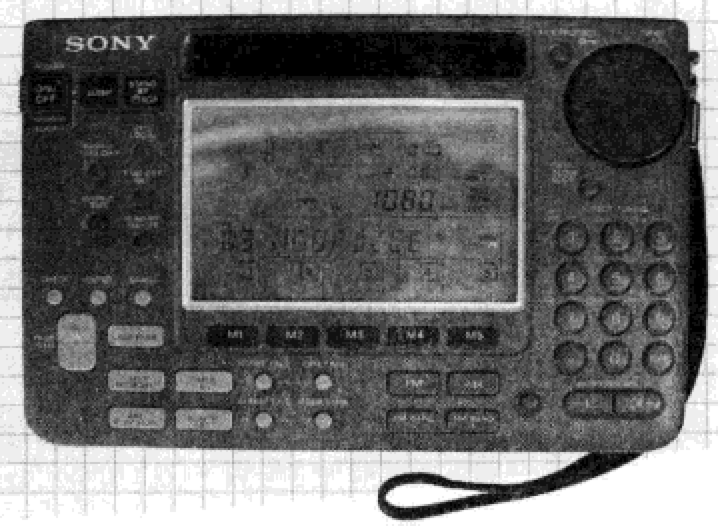
个人简历

本人从10岁起接触矿石收音机，从此迷上了无线电，成功地制作过半导体收音机、电子管多波段收音机、开盘磁带录音机、5英寸示波管电视机、Hi-Fi扩音机等。在几十年时间长河里，我对收音机与开盘录音机的热情一直不减。收藏有近千台各款收音机与开盘录音机。《无线电》杂志我订阅了很多年，从杂志中吸取很多知识，现在通过互联网我收集到《无线电》杂志从1955年创刊号以来的每期杂志。

几十年来，我利用业余时间为社会维修过数以千计的收音机与其他家用电器。在一些相关专业网站上，发表了鉴赏、收藏和维修方面的帖子与好友们交流心得体会。

SONY SW-55型收音机维修札记

◎肖小春



SONY SW-55 便携式收音机是日本索尼公司20世纪70年代后期产品，具有广播信号自动搜索、电台存储、标注台名、定时开关机等功能，这是模拟广播时代的精品收音机。朋友收藏到一台这款收音机，外观还不错，液晶屏显示正常。按开机键，显示CAL 数秒后跳回关机状态，无法开机。受朋友之托，我接手打理这台收音机。

打开机壳，看到接收电路板被严重腐蚀，这是片状电解电容漏液所致。焊开中长波磁棒天线，取出接收板，摇晃或拦腰剪下全部大大小小25个已报废的片状电解电容，见图1。在使用10年后这类片状封装的电解电容几乎都会出现漏液问题，这应该是当时的制造工艺或所用配方所致吧。看得出，由于发生了漏液现象，此机被搁置了很多年。

检修时使用的主要工具和仪器

- ◆ HITACHI V-1065A示波器
- ◆ PANASONIS YP-8191P FM/AM 信号发生器
- ◆ HAKO 700台式吸锡泵
- ◆ IDEAL61-362数字万用表
- ◆ SANW BX-85TR 指针万用表

先认真地将电路板拆下进行几遍清洗，对印制板走线的腐蚀和断裂之处进行补焊。再焊上不会再有漏液问题的固态钽电容，通电还是不能开机。翻起接收板背面与主控板间的软排线，仔细检查和清洗，没发现有连接不良之类问题，再次通电，依然还是不能开机。

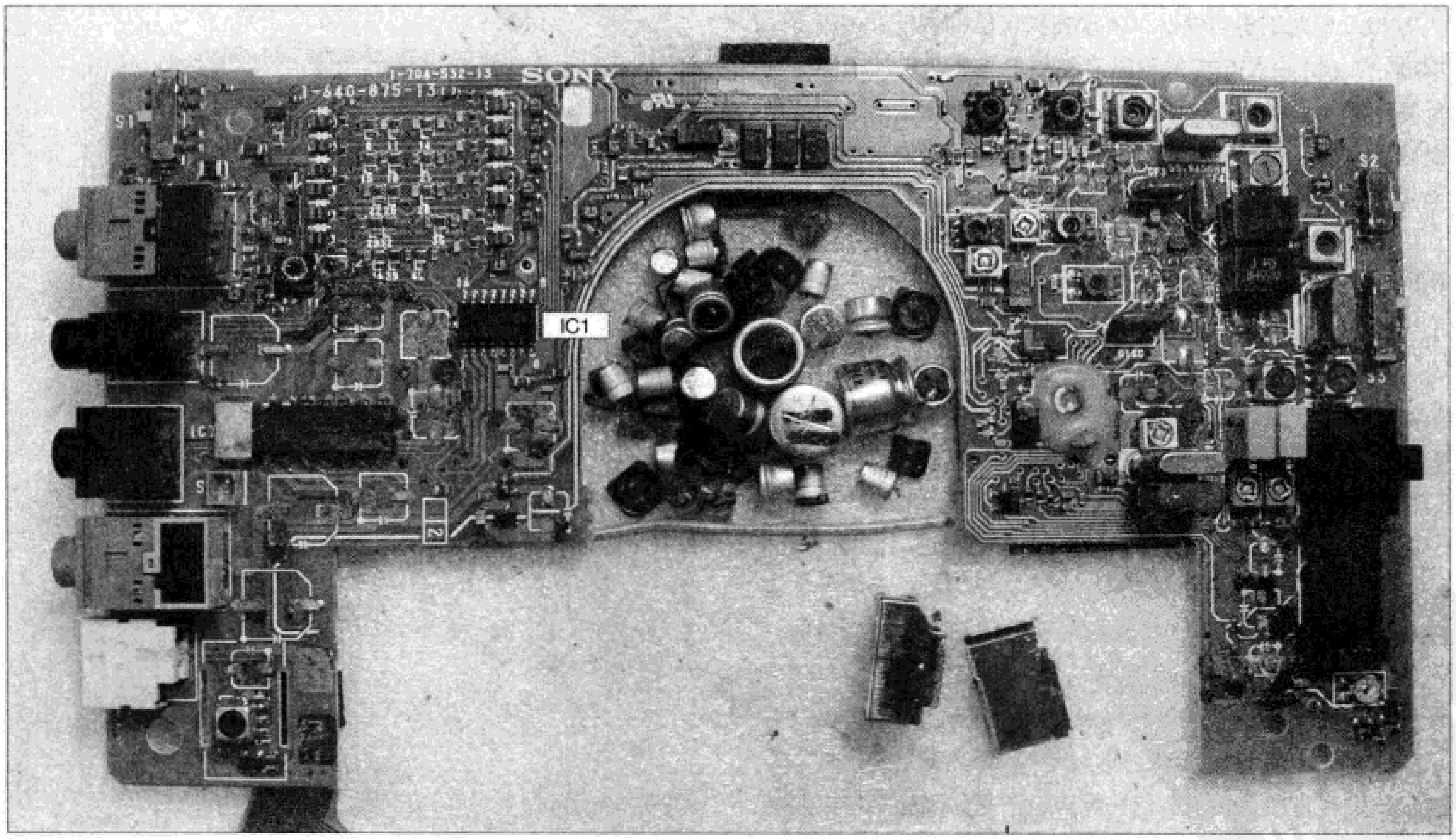


图1

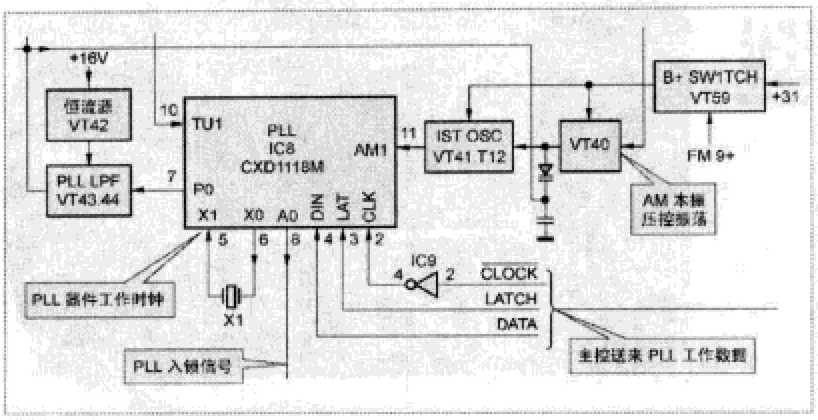


图2

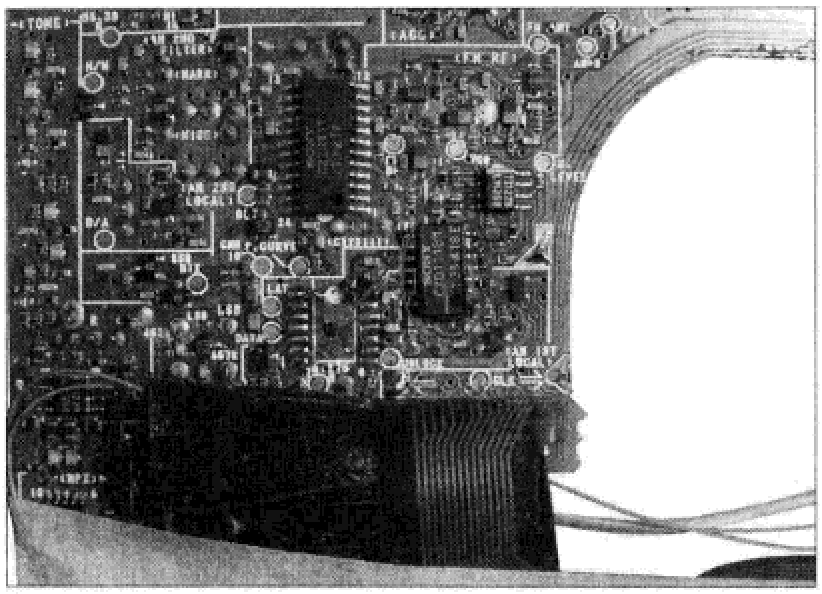


图3

检查电路的供电情况，发现各种电压的供电间相串得一塌糊涂，AM、FM与中放稳压三种供电电源有串接情况，在反复仔细地查找之下，发现是电路板被严重腐蚀而引起的绝缘问题，经过用航空线直接跳接的处理，三处供电串接现象消失了，机器终于可以开机进行电路检查了。

在正常状态下，开机后主控板向接收板PLL芯片送出开机默认的150kHz工作数据，等PLL回送PLL锁定的一串数据信号告知主控电路，主控才显示工作频率字符并进入工作状态。该机的PLL采用的是SONY公司自己生产的CXD1118M芯片，见图2。主控送出的工作数据进入IC8（CXD1118M）的2、3、4脚，要这芯片回送信号必须有两个基本条件，一是IC8的6脚要启振，二是PLL锁相回馈信号要送到IC8的11脚。有这两个条件后，芯片才会由8脚向主控电路送出信号。

用示波器探针测IC8的6脚，有6.275MHz振荡信号，测IC8的11脚没有，再仔细检查振荡部位印制板走线与器件，未发现问题。将IC8芯片拆下，将芯片与电路板间夹层部位再作清洗，并对相关外围器件做补焊，见图3。通电开机，显示CAL3秒后，即显示正常的150kHz，看来判断准确。但扬声器发出的声音不是正常的信号噪声，而是如同电路打火般的强噪声。

用示波器测AM状态的工作电压，有波动脉冲，看来这噪声是供电不稳造成的，怀疑是这条走线中有绝缘不良或漏电现象。再查开关管VT48和下拉控制管VT49的b极，有控制脉冲。VT49控制信号是由译码芯片IC1的 3~8脚提供的，如果IC1的7脚低电位，则输入到IC1的1~3脚信号全是低电位。将IC1拆卸后将IC1与印制板间的夹层进行清洗后。再开机，扬声器送出来的就是正常、平稳的信号噪声。调谐到本地1080kHz频率，啊！终于听到了美妙的广播之声。

电路基本能工作后，再对声音的严重失真故障作进一步检查。调谐到短波，无任何信号。IC7引脚与维修手册偏差较大，怀疑是电解电容漏液引起绝缘不良。将功放IC7（μPC1316C）做拆卸清洗，失真现象消失。

试转接收短波信号时有严重噪声，转回中波就没有了，怀疑是外部电气干扰？用其他正常的收音机接收就没有此现象，看来还是这机器有问题。分析各波段转换有两个主要动作，一是必须向PLL写入工作数据，二是要由译码器IC1的3~8脚送出相应工作波段切换信号。现在FM与中波是正常的，问题应该出在译码器IC1上。先检查IC1转换电平的三根输入连线，发现在AM与FM都很稳定无干扰脉冲出现，而在短波工作状态就有脉冲出现，并在5.5~9.9MHz频段最为强

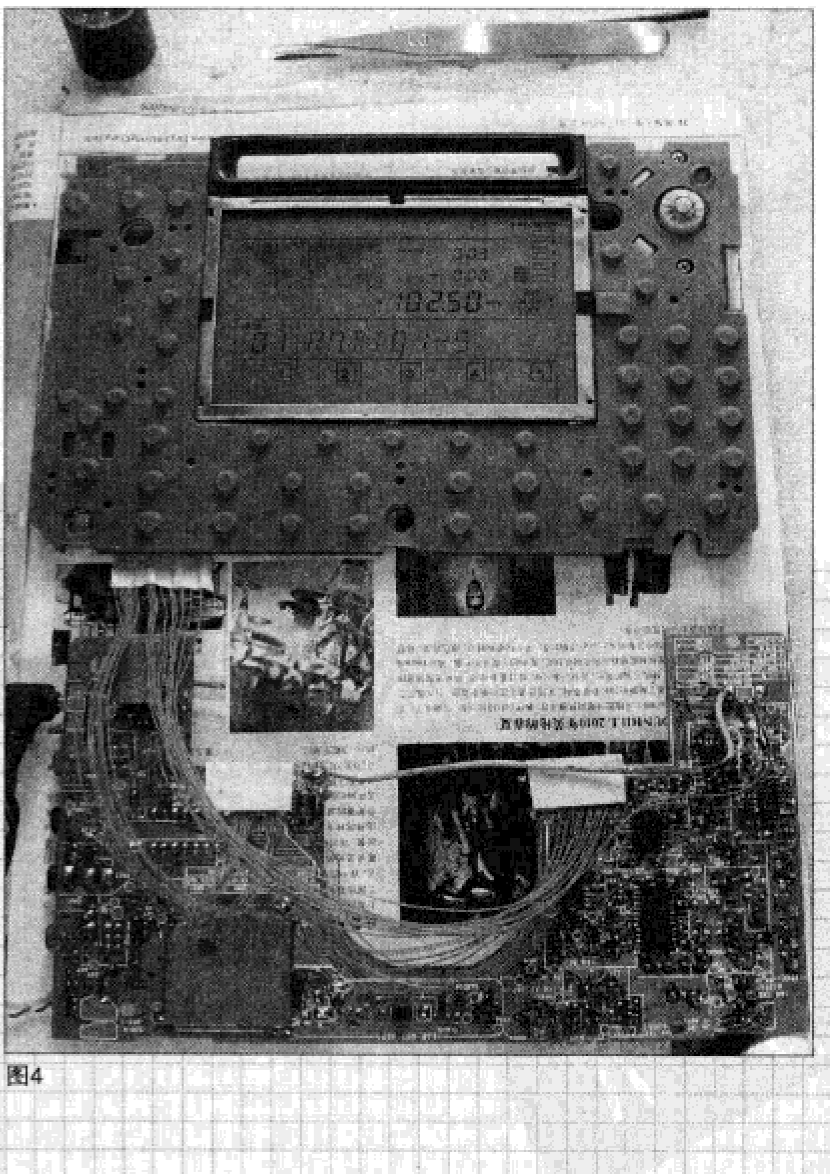


图4

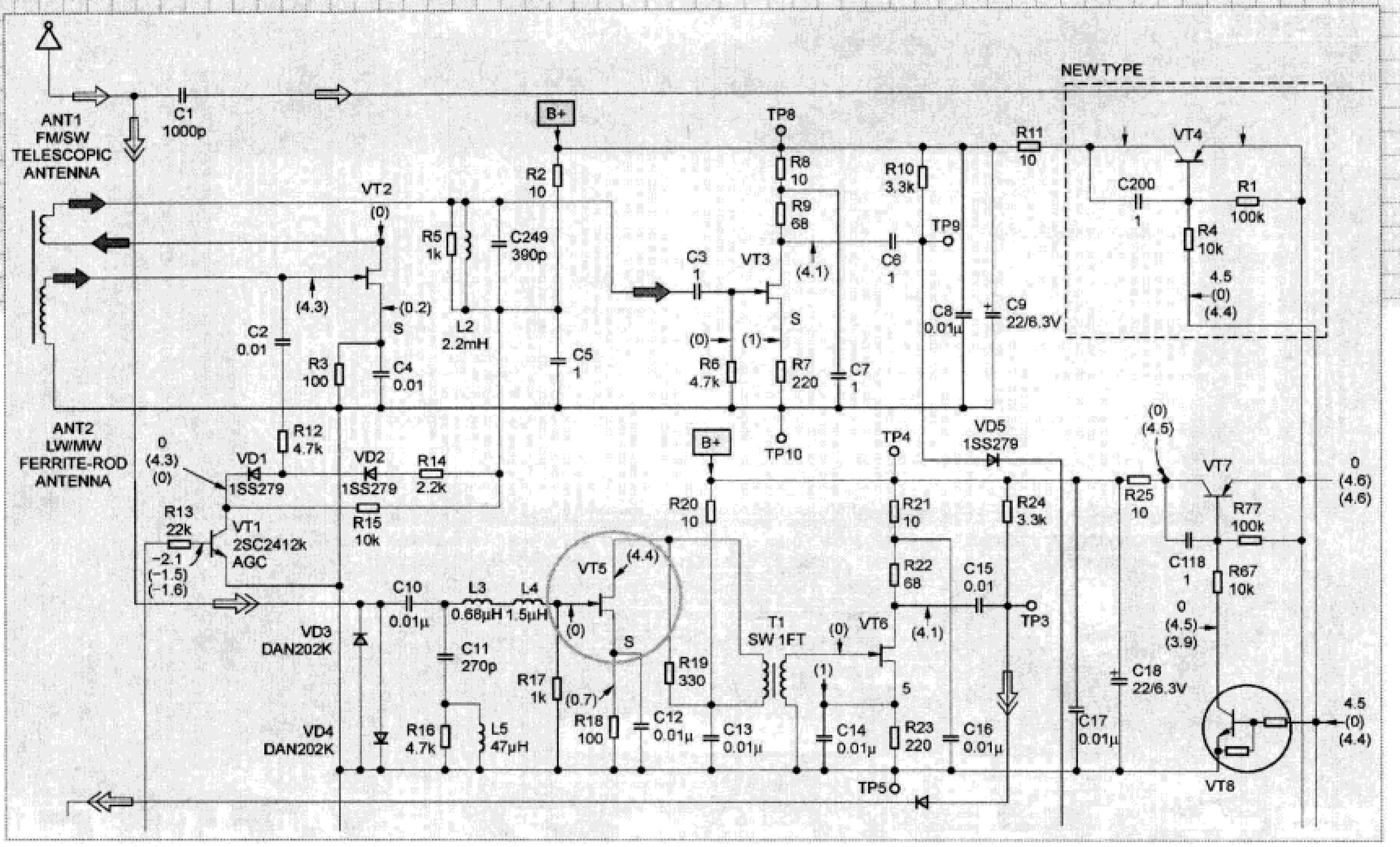


图5

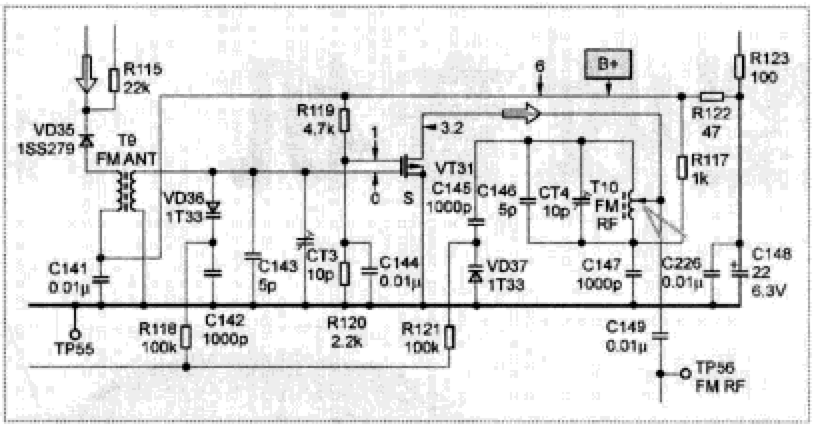


图6

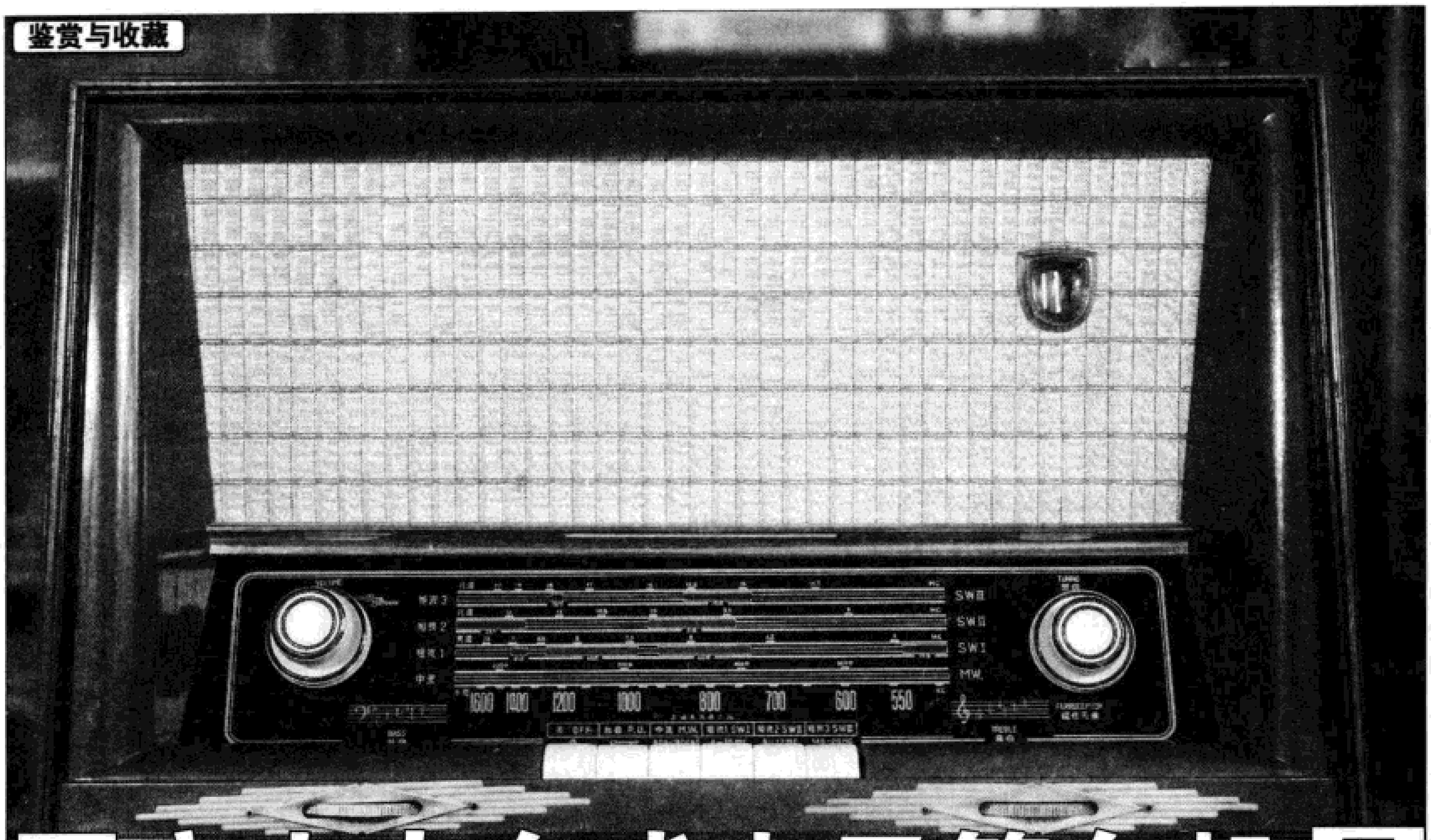
烈。分析电路，在中波状态这三根控制线都为低电平，调频状态都为高电平，只有在转换短波五段带通滤波器时（SW-55将短波1.7～30MHz分别设计有五段带通滤波器），才有其他电平的高、低组合，再结合这电路板的腐蚀状况，怀疑这译码器3根地址线间有相互串扰，应该是电路板走线间绝缘不良所致。仔细观看IC1到软排线间不长的部位，发现软排线连接处有腐蚀痕迹。将软排线拆除，用航空线将接收板与主控板间24根连接线一一焊好，见图4。再开机，整机各波段状态接收稳定良好。但是从AM转FM频段收音机就关机，怀疑PLL在FM状态锁相环未入锁，由于FM本振信号来自IC2的5脚，于是将这IC2（CX20111）焊下，进行清洗，并对相关电路作补焊，此故障排除了。

发现接收短波信号很弱，用信号发生器输出的10MHz信号接AM RF分频滤波矩阵后端，扬声器能听到信号声，说明第一变频以后的电路基本是完好的，故障出在RF部位。再测分频矩阵前端，测VT5的D极信号畅通，但测G极信号就消失了，测得VT5的D极为3.1V，正常值为4.45V，而VT5的S极与G极均比正常值高了许多，基本判定是场效应管VT5击穿损坏，见图5。更换此管后，短波能正常接收到弱信号了。

到此收音机能正常接收各频段的广播信号了，但就是灵敏度偏低，于是先检查FM通道，将信号发生器输出的76MHz信号输入各级电路，在电感T10处发现了问题（见图6），细查是T10电感断了，原想这类电感没几圈，拆下重绕就是了，仔细观察，断开处在电感底座的引线焊接处，补焊上后FM信号即强了许多，本地广播杂音没有了。最后再对FM进行统调，现在这台收音机接收FM频道时与正常机子相差不大了。该机设计有2次变频，AM各波段校准与单次变频的机器相比简单许多，没有各波段烦杂校准跟踪统调的必要，经过调整，现在灵敏度在中波基本还行，短波稍微弱些，该机经这番电解漏液浸泡还能恢复到这种状态，算是很万幸了。

我是收音机爱好者，每当收藏到自己心仪的机器，哪怕它是久病缠身，也要想办法进行治愈，让它们健康、快乐地回到主人的身边。

鉴赏与收藏

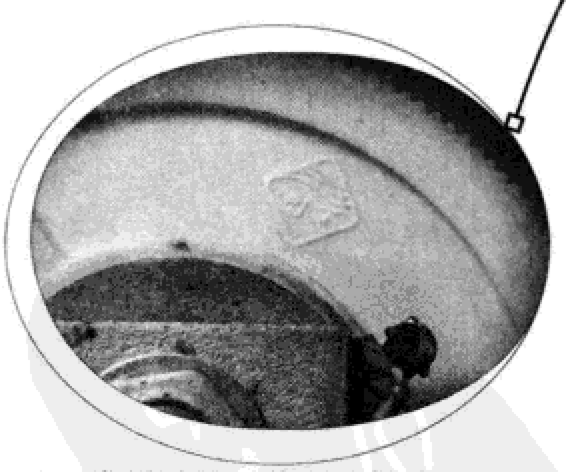


国产十大台式电子管名机 5
——飞乐271型收音机

◎陈汉燕
徐 蜀

飞乐牌271型7管电子管收音机是上海无线电二厂出品的一级收音机。在此系列的前几篇文章中曾经提到，上海广播器材厂1958年开发出上海牌131型7管收音机后，在131型收音机的机芯结构和电路基础上，又陆续推出了132、132-1和133型收音机。大约从1960年起，随着上海电子工业格局的调整，上广电将原有的大型收音机项目，转到新成立的无线电二厂继续生产。131、132-1型收音机系利用上广电的原有器件装配，厂名仍旧沿用上广电。飞乐2Y-2070、271型收音机则采用131型收音机的底板和电路，重新设计了外观造型（有可能也是上广电设计的）。在现存的飞乐2Y-2070型收音机中，就有相当数量的机器仍旧使用带有上广电厂标的度盘。飞乐271型收音机的音调大旋钮上也有上广电的注塑厂标。

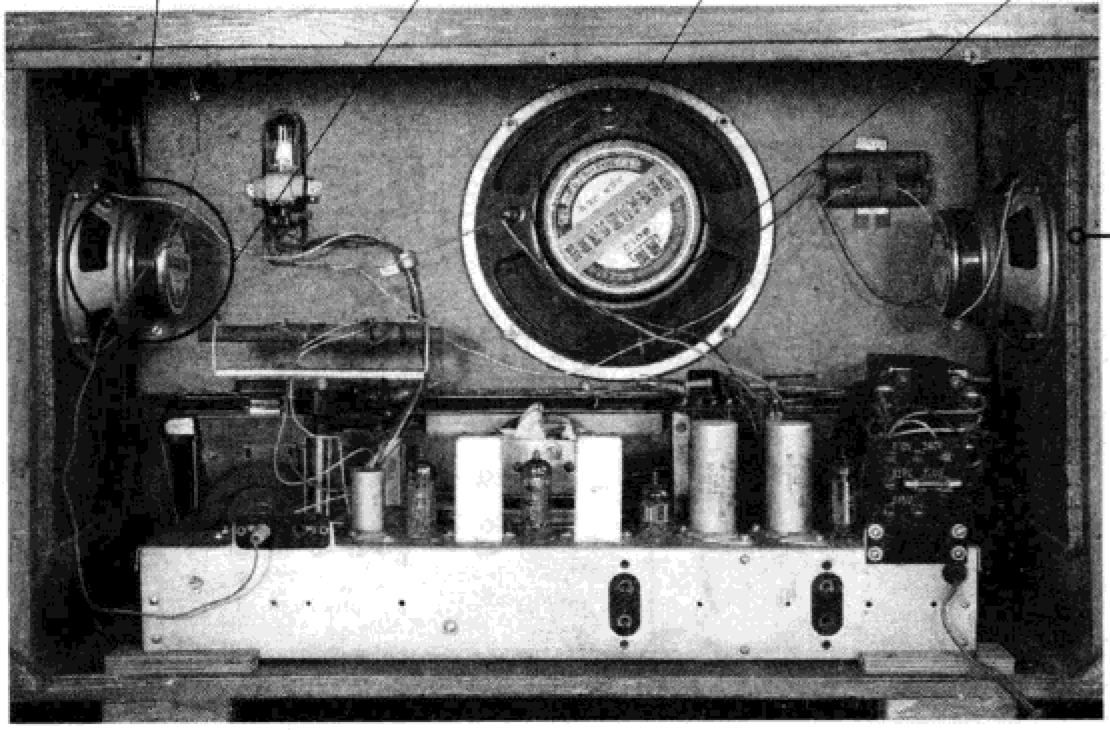
整个50年代，在上海的收音机制造厂家中，上海广播器材厂可谓一家独大。1960年调整后，以利闻无线电机厂为主组建的上海无线电二厂、以上海无线电厂（前身是宏音无线电厂和公利无线电厂）为主组建的上海无线电三厂、以开利无线电厂为主组建的上海无线电四厂，成为上海收音机


271型收音机音调钮上的“上广电”标

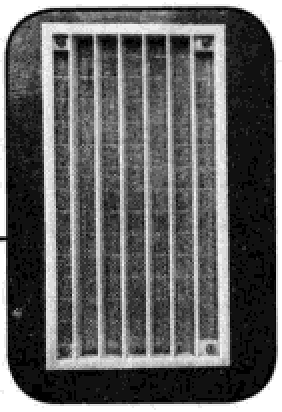
生产的骨干企业。需要指出的是，在新组建的三家厂子中，上无二厂虽具有飞乐这个传统品牌，但飞乐此前只是扬声器的著名品牌，老利闻厂收音

503-Bi型中音扬音器标签

801型扬音器标签



飞乐271型收音机内部结构

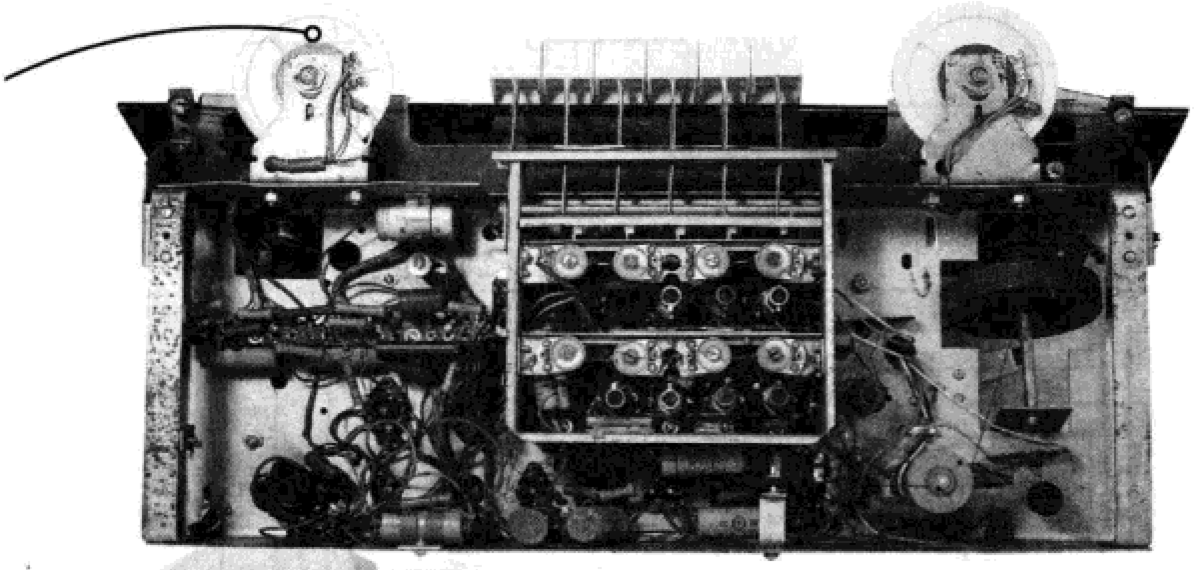


侧面的喇叭窗

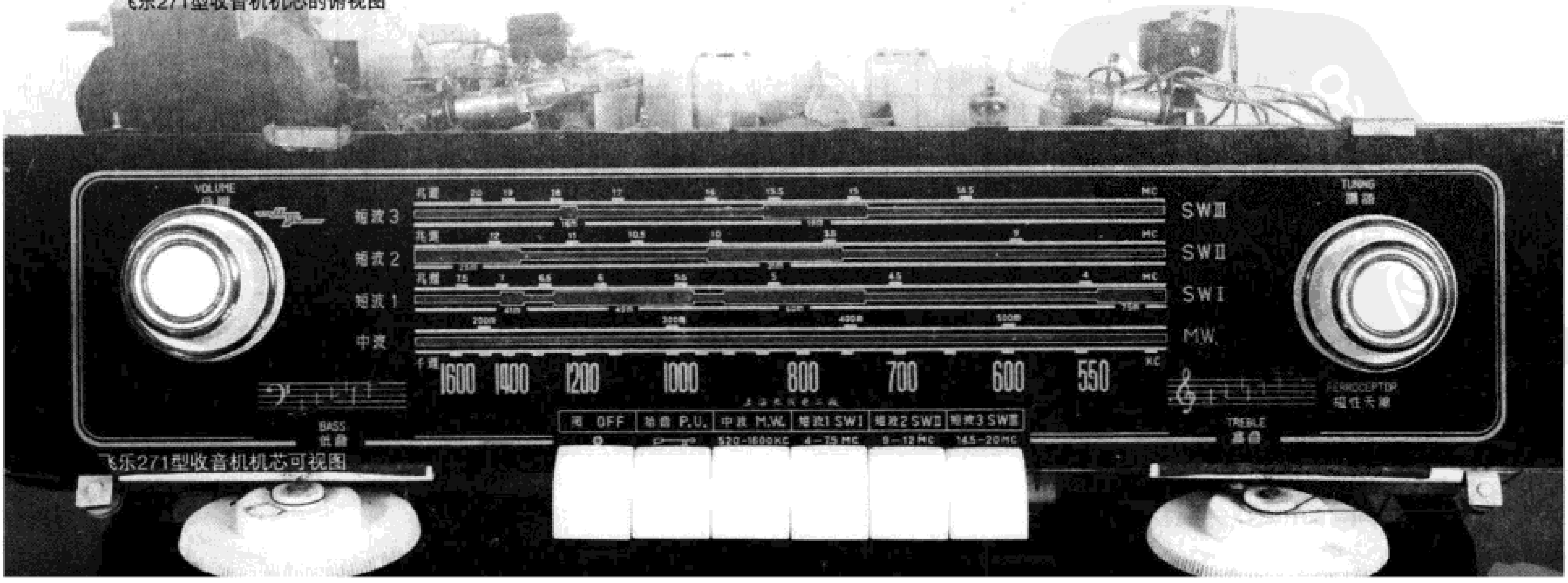
机的主打产品是宇宙牌，在收音机市场上顶多属于二线或三线产品，根本不能与三厂的美多、公利、新时代，四厂的凯歌（前身是开利、电子）等收音机相比。

在计划经济的年代，生产格局等方面的调整，免不了要搞平衡。为此，有关部门将上广电收音机生产的技术力量，乃至部分生产线和产品直接调拨到了二厂，使二厂的收音机研制水平有了突飞猛进的发展。

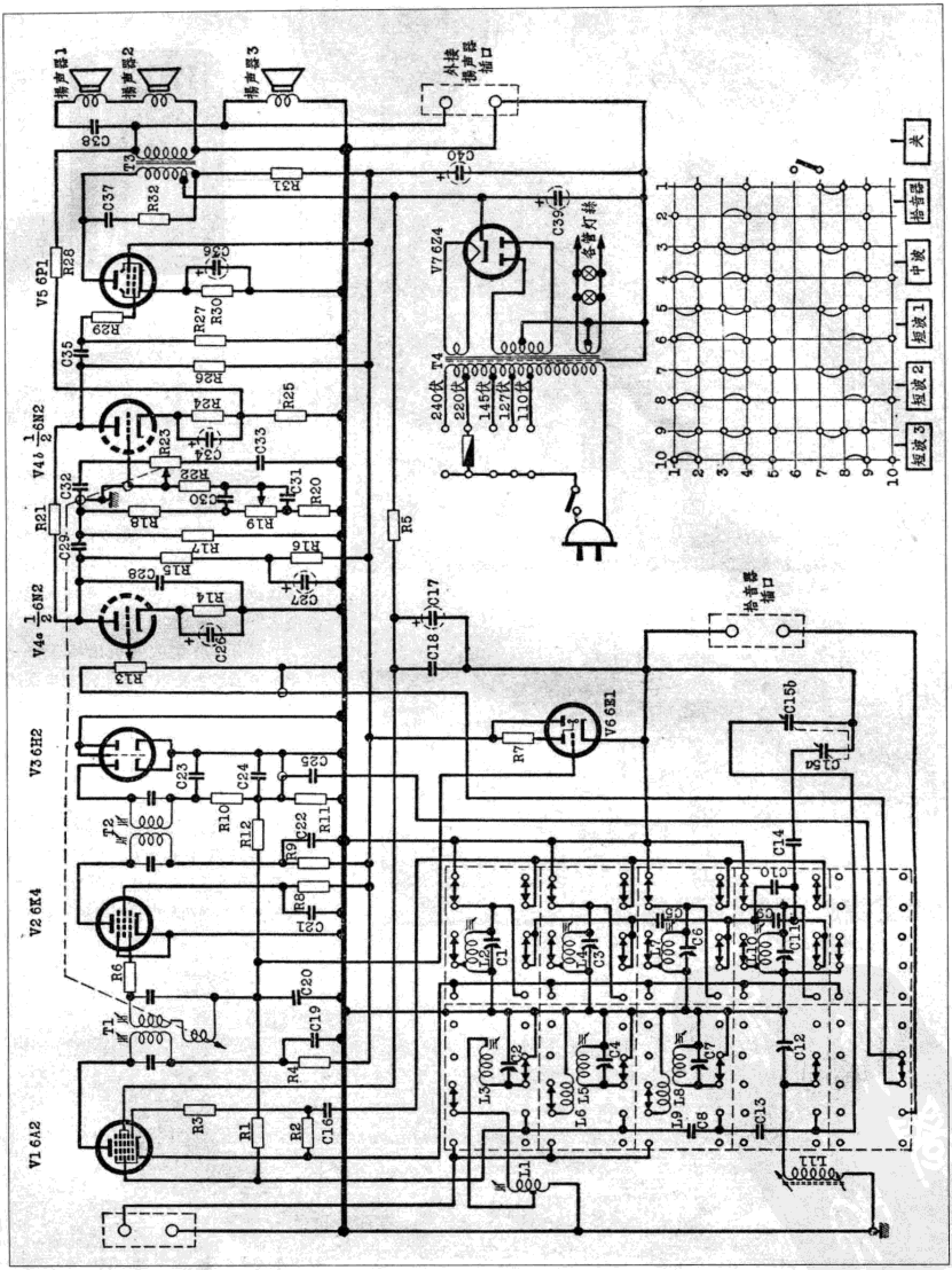
飞乐 271 型收音机出品于哪一年？中国五金交电公司上海交电采购供应站编写的《收音机手册》第二集记载为 1962 年。但我认为应该还要早一些。我收藏了一台品像非常新的飞乐 271 型收音机，机器上没有标注生产日期，但底板上下共有大小 4 只铝壳电解电容均为 1960 年 8 月出厂，“公私合营天和电化厂”出品。我们知道，电解电容是有使用和保存期限的，收音机



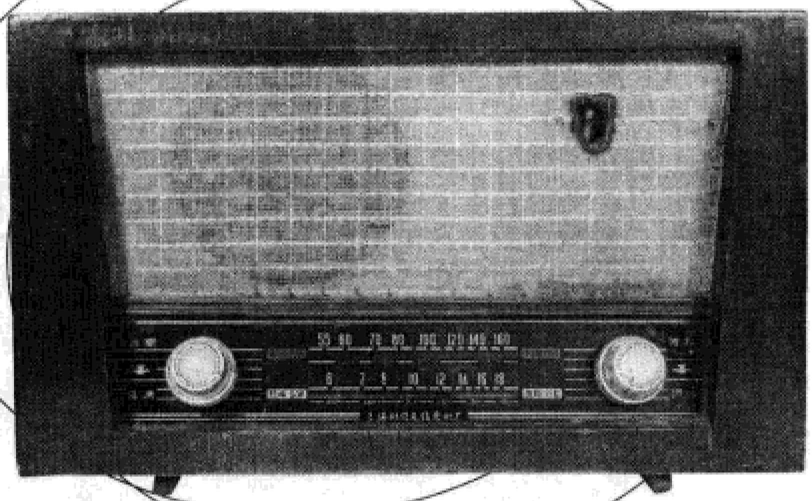
飞乐271型收音机机芯的俯视图



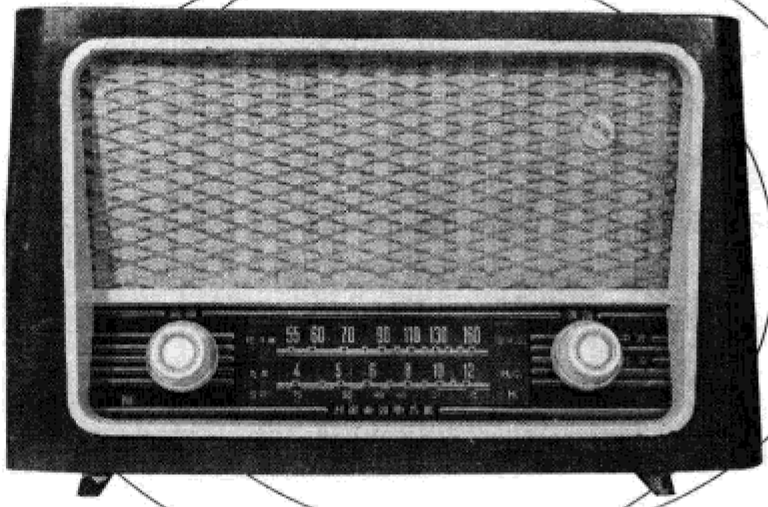
飞乐271型收音机机芯可视图



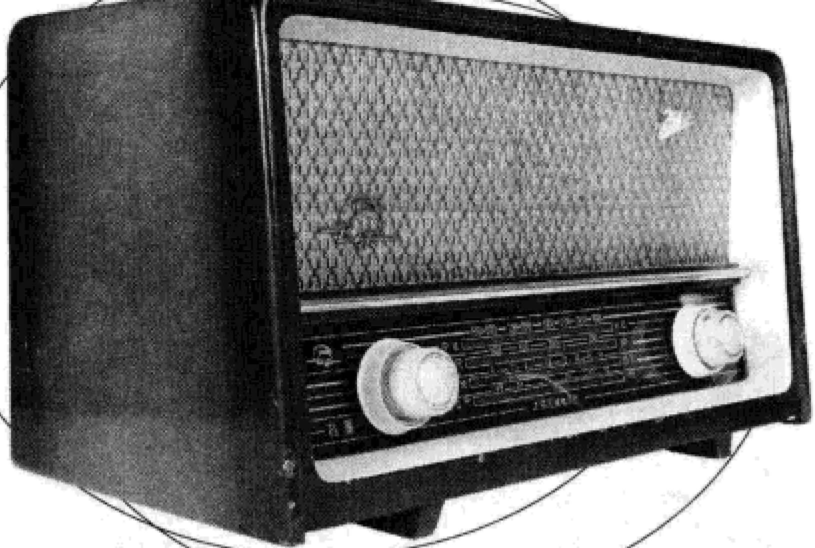
飞乐271型收音机电路图



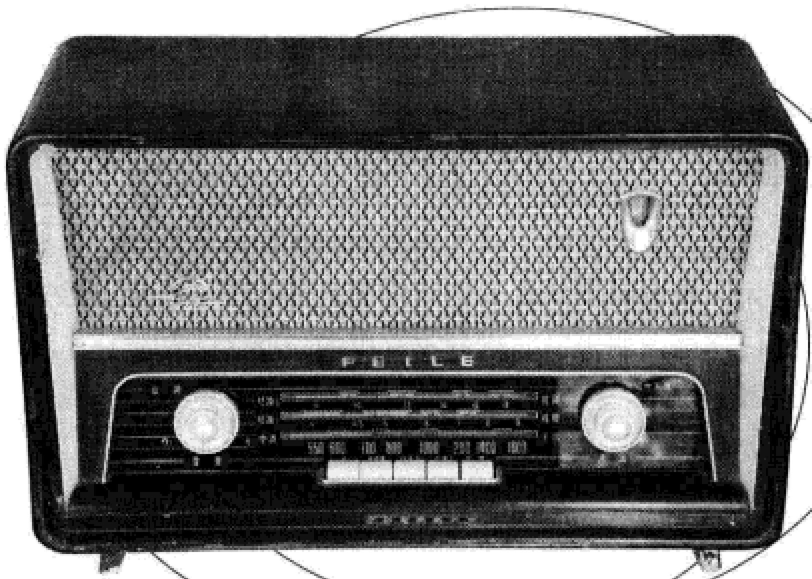
宇宙牌收音机之一



宇宙牌收音机之二



飞乐251-2型收音机



飞乐265型收音机

制造厂在组装成品机时，都会尽量选择近期出厂的电解电容，从我收藏的其他老收音机的情况看，一般收音机与电解电容（尤其是大容量滤波电解电容）的出厂日期少有相差半年以上的。据此判断，这台271型收音机的出厂日期应为1960年年底至1961年初较为合理。

飞乐271型收音机的机箱尺寸宽60.5cm，高38cm，上部厚度27cm，下部厚度29cm，与上海131型收音机机箱的尺寸差不多。扬声器系统使用飞乐牌801型200mm低音一只、飞乐牌503或503Bi型中音两只，整体的音响效果是很不错的。利闻无线电机厂最早是以装配扬声器而著称的，1948年即开始生产飞乐牌扬声器。1960年7月，以利闻为主体成立上海无线电二厂的同时，原先的扬声器车间独立出去，成为专业的电声器件厂，即著名的上海无线电十一厂。此后，扬声器生产规模进一步扩大，加工手段从原来的手工、半机械化操作向机械化、半自动化过渡，生产效率和产品质量均得到很大提高。在1961年、1963年全国扬声器质量评比中，该厂生产的5种飞乐牌扬声器全部名列第一。60年代以后，飞乐牌扬声器不仅成为国内中高档收音机争先选用的产品，而且还出口到东南亚各国。271型收音机的好声与飞乐扬声器的优越性能有着直接的关系。

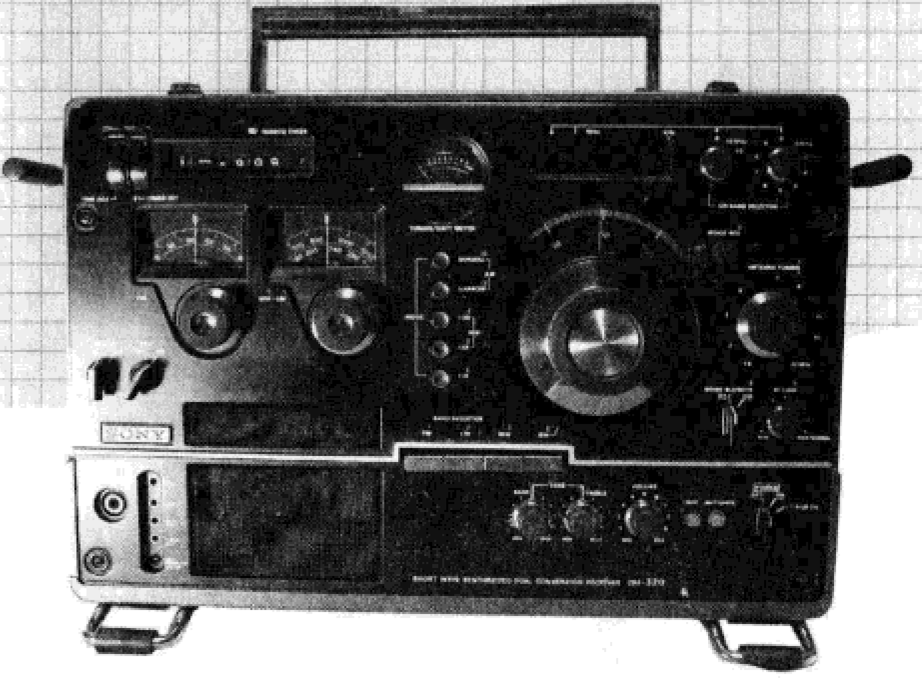
飞乐271型收音机的造型明显来源于上海132型收音机（尺寸加高而已），由于机箱的容积增加不少，放音效果要好于132型收音机。271型收音机虽贵为一级机，造型也算典雅庄重，但其风格并未被上无二厂看好，与其同时期的产品飞乐261系列（风格来源于老利闻的宇宙机）一样，都只是过渡时期的产品。从飞乐251-2型收音机开始，才初步形成上无二厂电子管收音机自己的造型风格，265系列日趋成熟，272型收音机达到了极致。

由于上海131、132-1型收音机的产量很大，加之上无二厂自主研制的飞乐272型收音机很快上市，因此飞乐271型收音机的产量非常少，其收藏难度与价值应高于131与132-1，甚至高于飞乐272。1974年笔者花60元钱在北京东四信托商店买了第一台飞乐271型收音机，由于造型美观、气派，音响效果出众，令左邻右舍十分羡慕。要知道，当年普通百姓家能有一台小小的5灯收音机就很不错了，一级收音机确实太少见了。

鉴赏与收藏

SONY CRF-320型收音机

◎陈祖德

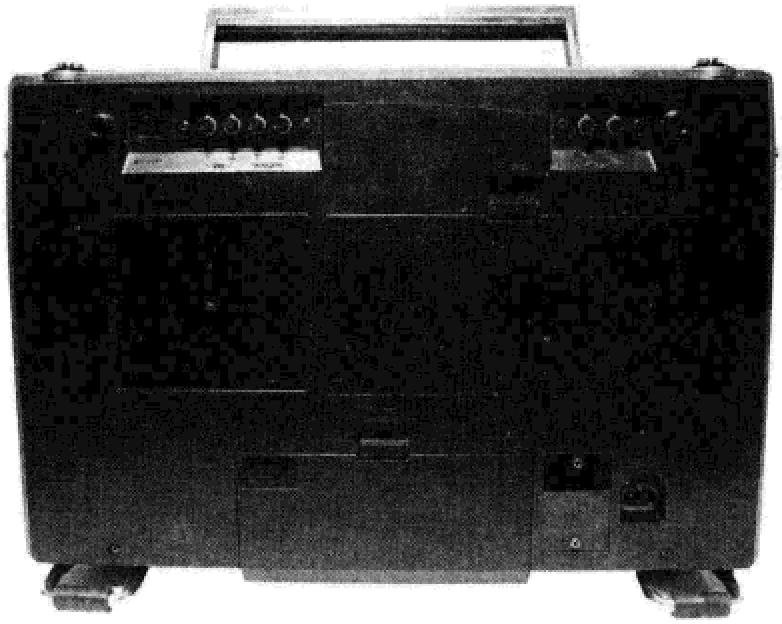


收音机的正面

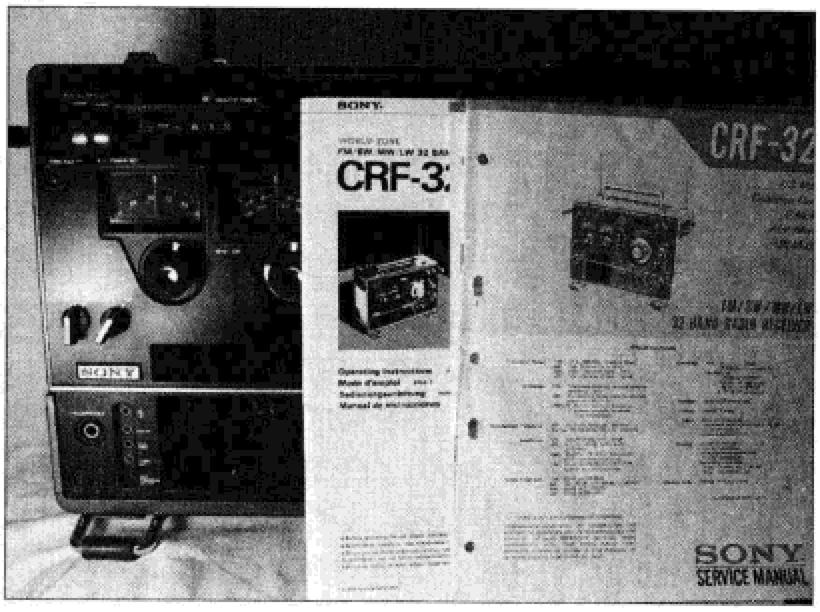
在喜欢收藏收音机的玩家圈子中，SONY CRF-320型收音机可谓大名鼎鼎。它是SONY公司1976-1980年生产的高端收音机，其最明显的特点是远程接收能力极为强大，就像当年广告词中所描述的：“CRF-320可以在世界任何地方使用”。这台收音机的外形装备和旋钮布局都酷似专业接收机，并且无论是接收的灵敏度还是选择性都不逊色于专业接收机，在远程接收和单边带接收时，其噪声非常小，因此，将SONY CRF-320归到接收机这一档中也不为过。

下面我来谈谈对SONY CRF-320 型收音机的感受。

该机外形高大威猛，骨子里透着阳刚之气。其外形尺寸是451mm×308mm×207mm，重量达13kg。机器前脸用铝合金整体铸造，除了机器前保护盖和后盖使用塑料材料外，其他部分均使用钢板和铝合金材料。总之，无论从

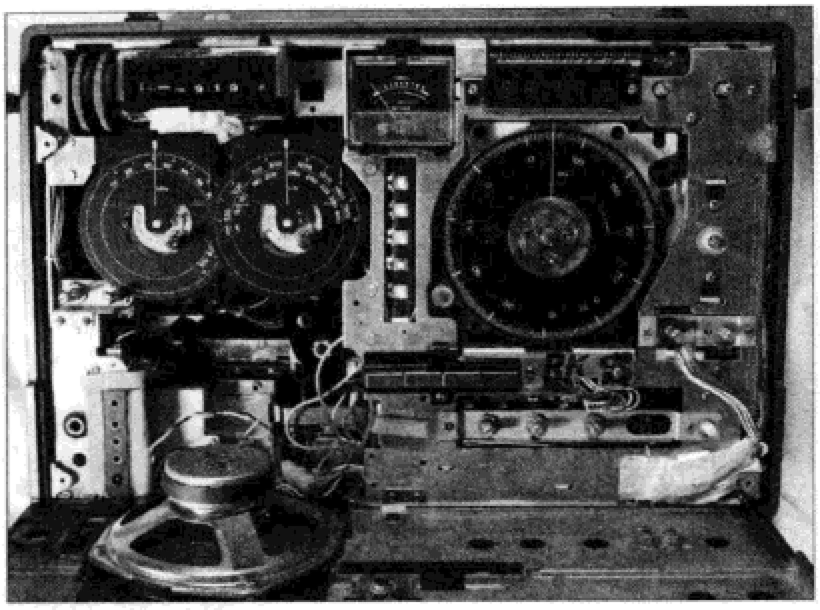


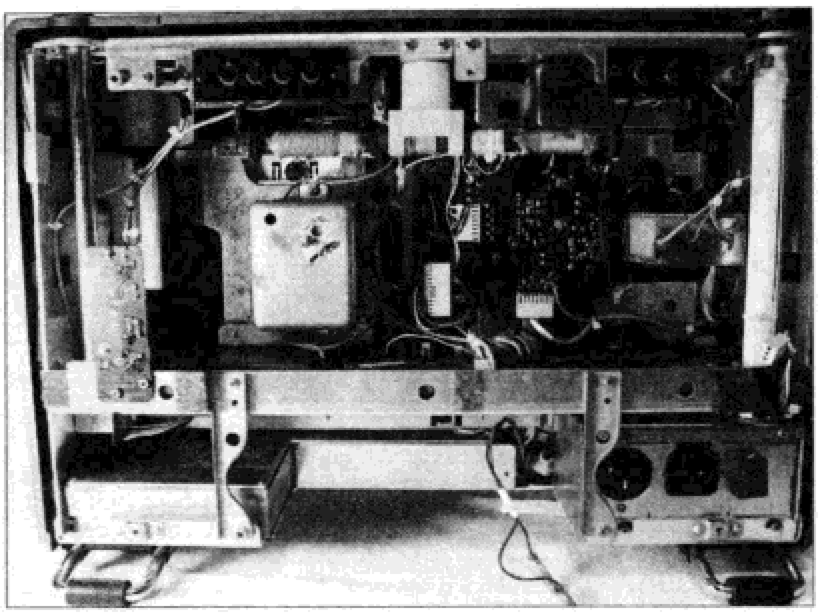
收音机的后盖



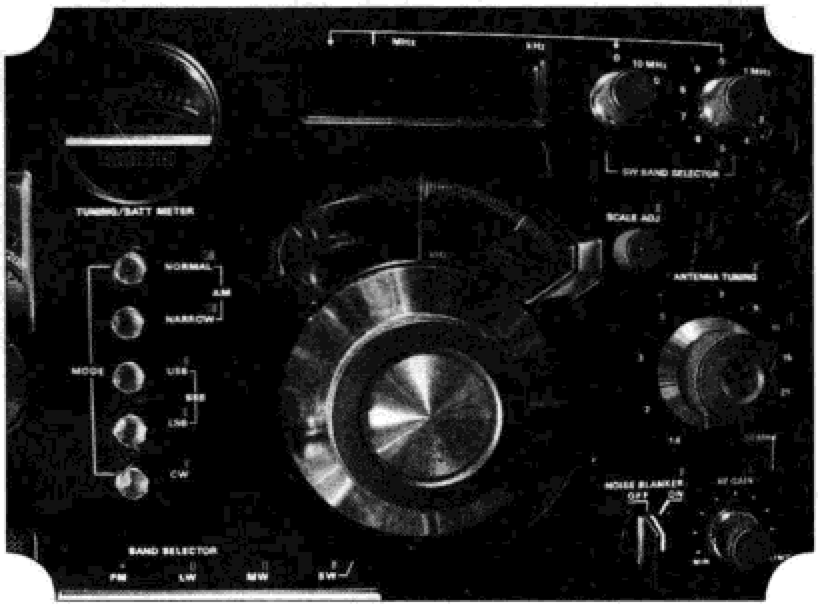
使用手册

收音机前保护盖


内部结构（前视）


内部结构（后视）

调频和中波旋钮



短波旋钮布局

选材，还是从体貌，该机都体现出能抵抗各种恶劣环境的专业机型特征。

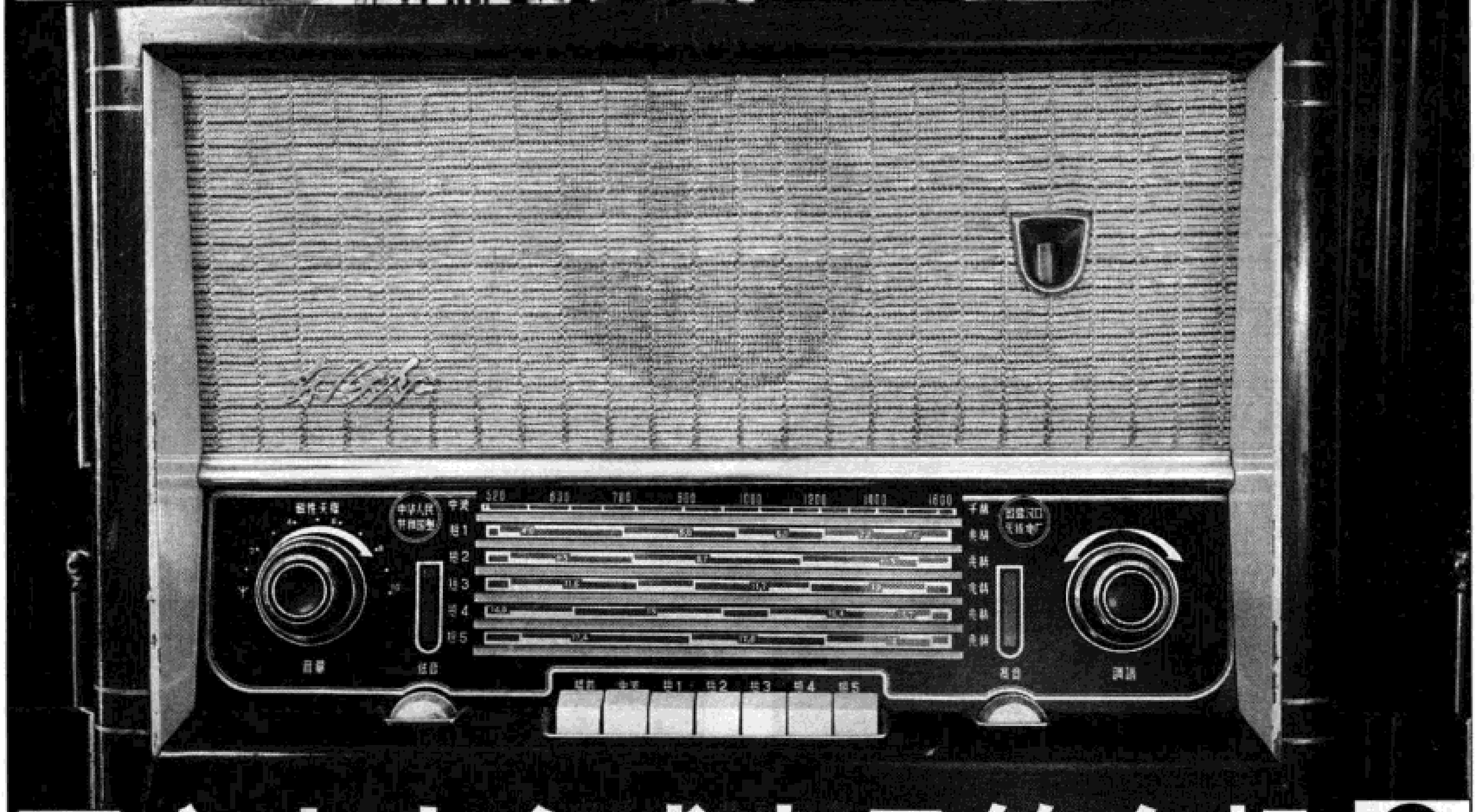
该机采用两次变频，覆盖频率为：AM频段 0.15~30 MHz、FM频段87.5~108 MHz，有4种接收模式（AM/WFW /SSB/CW），有三套调谐机构，中波、调频及短波各自调谐，互不干扰。短波分29个波段，调谐非常便利，虽说是模拟接收机，但却采用了数字显示（只用于短波），这在当时也是很先进的。机器主电路采用分立元件，共用了93个晶体管，频率显示部分的数模转换采用的是集成电路。此机与大部分收音机不同的是短波单元没有使用可变电容技术，而是用的一般接收机惯用的VFO技术（可变频率振荡器），这样有效地提高了机器的接收能力。

打开这台机器的后盖，一个个屏蔽的小盒子映入眼帘，各个单元的元件都在其中，此机与其他收音机最大不同点就是引入了模块概念，各单元的拆卸非常简单，拧几个螺丝钉、拔下连接插头，就能将你所需要的单元电路拆卸下来了，这给修理和调试带来了极大的方便。

机器在关机状态时，左上方有一个绿色的小灯在闪烁着（每秒一次）， 那是机器带的石英表工作灯，在20世纪70年代，石英表技术还是面世不久、相当高级的产品，可见，当年SONY公司制造的这台机器是不惜血本的。

到现在这台机器在国际市场也价格不菲，品相好的、没有故障的机器在拍卖网上要800~900欧元才能买下。Ⓦ

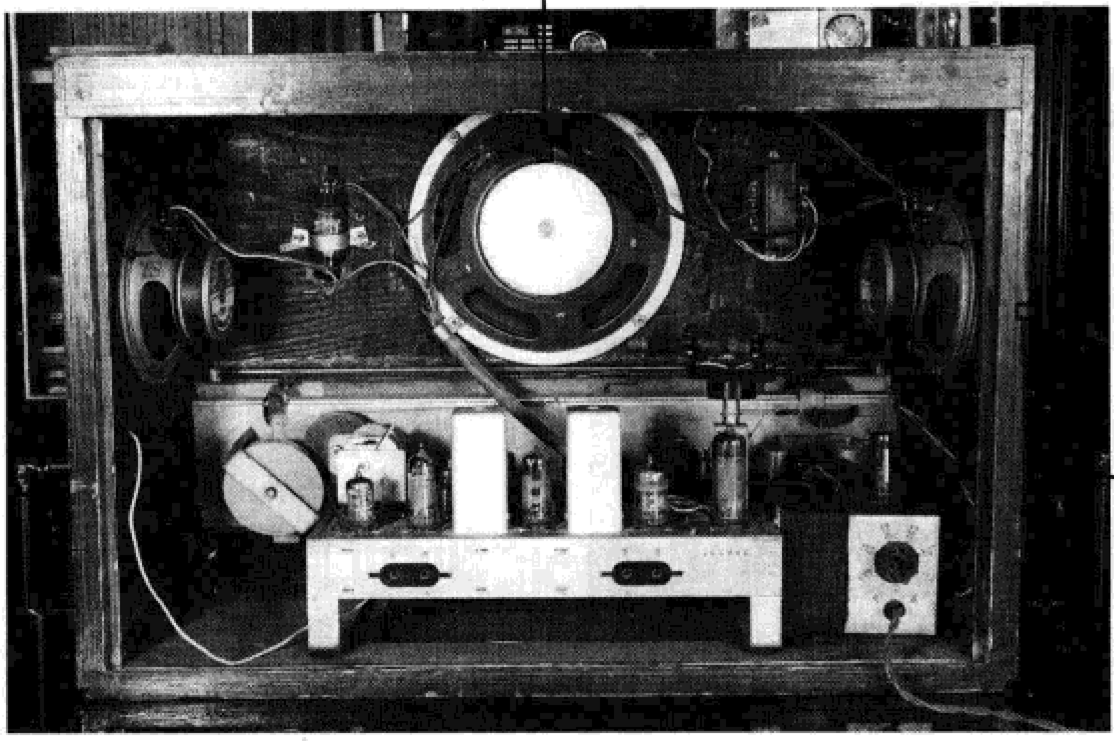
鉴赏与收藏

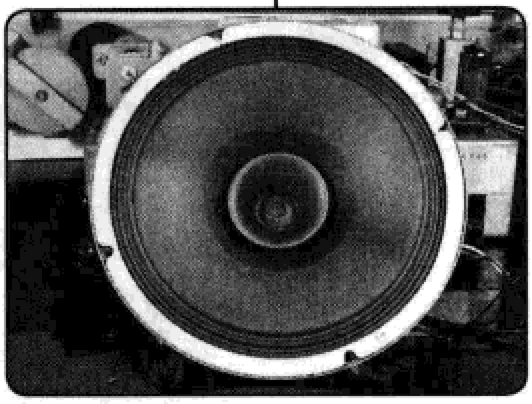


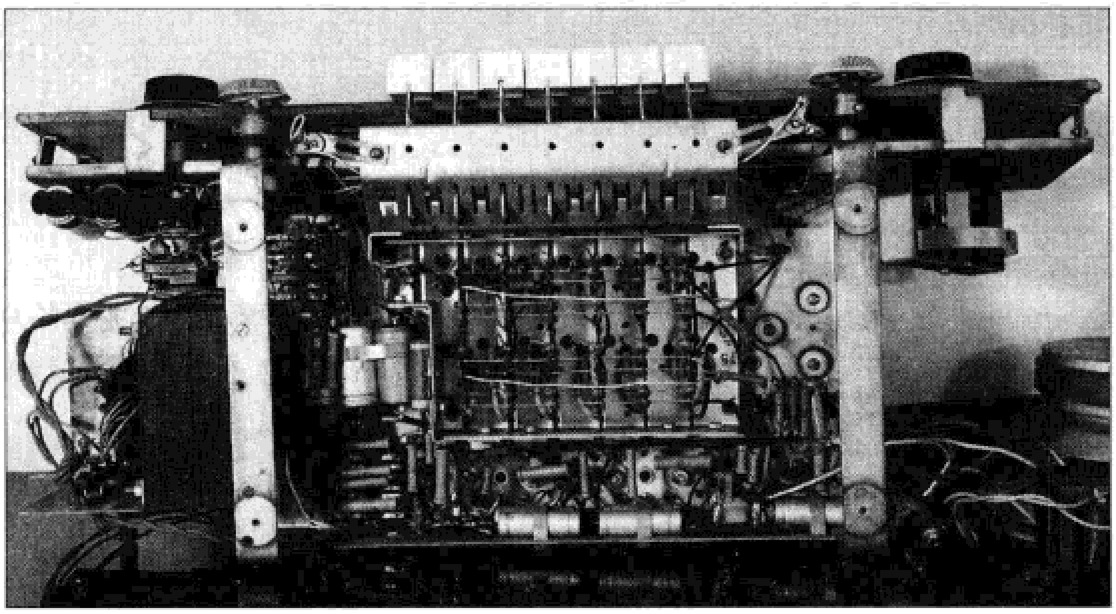
国产十大台式电子管名机 6
——东方红82-Y型收音机

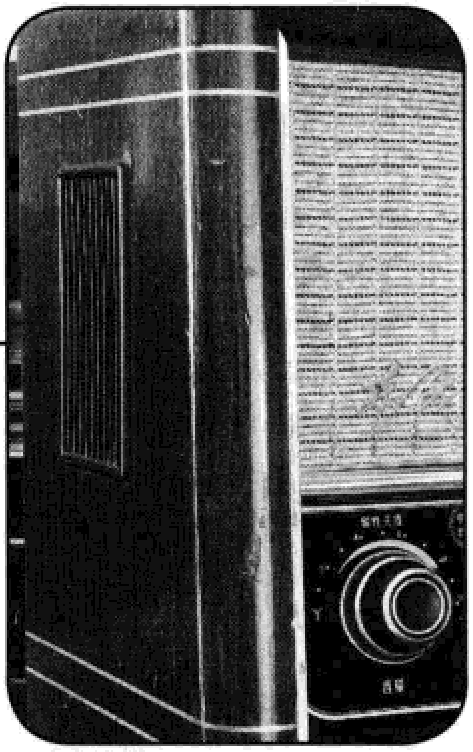
◎陈汉燕
徐　蜀

在“国产十大台式电子管名机”系列的构思之初，曾将东方红802-Y型收音机列了进去。但随着资料的积累与对实物的反复观察揣摩，决定撤下东方红802-Y型收音机，以其改进型的7管机代之。该款7管机的型号可能是80-Y，也可能是82-Y。说它是80-Y的依据是，我有一台此机的底板上粘有一张检验签，上面填写的型号为东方红80-Y。说它是82-Y的依据是，另一位藏家有一台相同的机器，后背板上挂着一个标签，上面的型号是82-Y。按照常理，机芯内部粘贴的标签是固定的，可信度大于后背板上的活动标签。但认为是82-Y却还另有一佐证：1959年全国广播收音机评奖时，曾有一款东方红一级收音机获2等奖，文献记载就是82-Y型。82-Y也是东方红收音机中唯一的一级机。况且，评委会认定82-Y型收音机的外观比此前同类机型都要美观。事实也确实如此，这款7管机是所有东方红中造型最大气、豪华的一款收音机，我们姑且认为它就是82-Y吧。至于7管机为什么仍然是“8”打头，这倒不算大问题。同为该厂出品的卫星31型收音机刚问世时是3管机，很快就变为4管机了（整流管代替了硒堆），但型号依然是31型。收音机型号的不易确定与混乱，凸显出我国早期收音机生产的不规范。那个时期的不少收音机，甚至是名牌机，机身上根本就没有品牌和型号，有些甚至连厂名和产地都不标注，以下言归正传。


内部结构

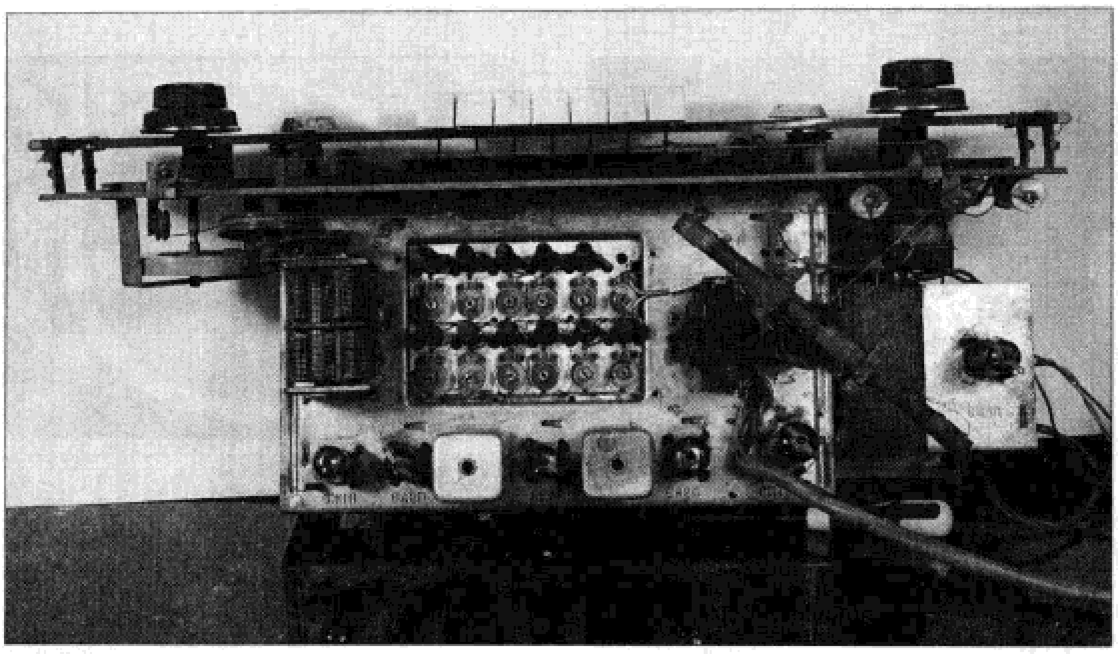

双纸盒扬声器


机芯底部


喇叭侧窗

东方红82-Y型收音机，1959年国营汉口无线电厂出品。汉口无线电厂是国产收音机研制生产的重镇，其前身为1949年8月在上海建立的710军工厂。1953年7月更名为上海无线电厂，1957年5月由上海迁至汉口，遂名国营汉口无线电厂。上海、东方红、卫星等是该厂收音机产品的著名品牌。需要指出的是，汉口无线电厂（包括其前身上海无线电厂）是我国高档收音机研制的先行者。早在1955年，该厂便已生产出东方红723型7管高级电子管收音机。1956年《无线电》杂志第9期详细介绍了已经上市的东方红牌723型收音机。同年第12期又介绍了该厂另一款产品，友谊牌722-551收音、电唱两用机，收音部分也是7管，与东方红收音机相同。此后更生产出远程牌9管高级转播收音机。该厂早期的收音机与他厂的不同，除整流管与调谐指示管外，均采用小型电子管，以方便今后更换。当然，由于当时国产小型电子管尚未成熟，采用的主要是东欧系列的小型电子管。

汉口无线电厂1958年开始定型出品东方红牌（或卫星牌）8管收音机。前后型号分别为81-Y、802-Y及803。该系列收音机有两个突出的特点：其一是采用6J1做不调谐式高放，以增强收音机的灵敏度、信噪比，并提升自动音量控制作用。这在三极七极复合管6U1普及前的20世纪50年代，应该是比较先进的收音机电路模式了。其二是短波划分多至5个波段，这在国产



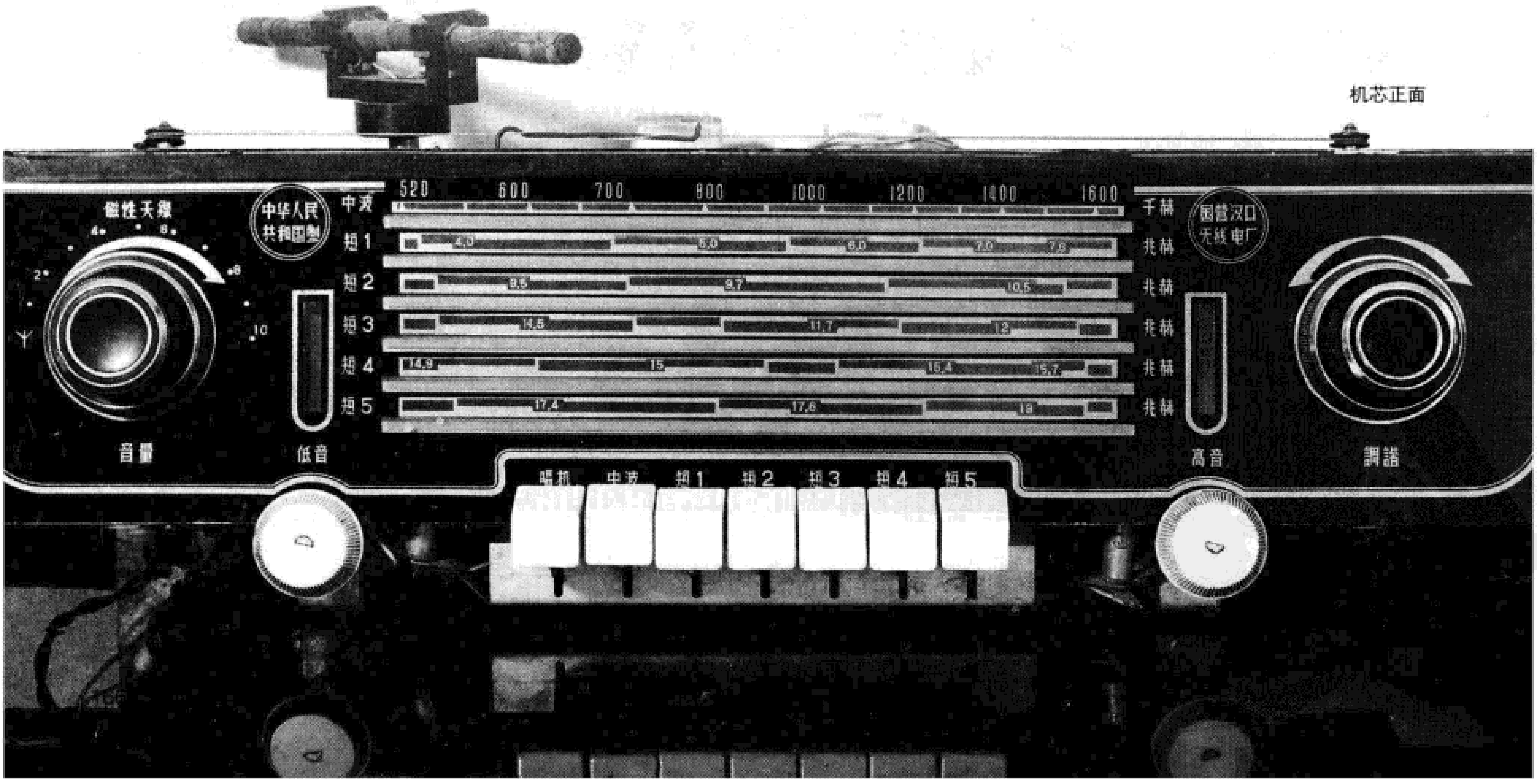
机芯俯视图

收音机中是不多见的。至于上海131系列收音机使用的第一中频变压器与高音调节交连，通频带可调技术，东方红81-Y型收音机开始都具备了。

在已经公布的东方红系列收音机的文献资料中，802-Y型收音机的性能指标应是最高的。该机为8管机，机内设有可旋转的磁性天线（中波段）和铝箔天线（各短波段），输入调谐电路在短波段加设了波段展宽措施，避免了短波段电台拥挤造成的调台困难。802-Y型收音机的一大特色是使用了一只YD3-1型200mm双频带扬声器。这种扬声器有大、小两个纸盆，可同时播放高、低音。另外还有两只1F2椭圆扬声器，放送中音。改进后的82-Y型收音机的扬声器系统变化不大，只是将两只1F2椭圆扬声器换成1F1圆形。用管方面减少了一只6G2，输出管用功率更强劲的6P14取代了6P1。应该说，整体性能是更高了。

东方红8管大型台式系列收音机，是我国电子管收音机发展史中非常重要的一类机型，民间普及率很高，口碑较好。而且从电路和元器件的使用看，丝毫不差于（某些方面甚至超过）上海131、132系列机和牡丹711型7管收音机。但东方红8管机却没有一款机型被评为一级机。其中的原因比较复杂，某些硬性指标不符合要求可能是主要原因。1958年公布的国产广播收音机定级标准规定：特级收音机电子管数量不限，1级、2级电子管数量不超过7个。例如上海131、上海132、飞乐271、飞乐272、牡丹711等均为7管机。当时国家的相关政策是鼓励节约并降低成本的。有鉴于此，汉口无线电厂才在1959年推出了东方红82-Y型7管机，并顺利评上了一级机。有人可能会说，上海133、牡丹911都是9管机，为什么也评上了一级？其实，133和911的最初目标很可能是特级机，最终未能如愿而屈居了一级。另外，上广电和北京无线电厂是两个直辖市全力扶持的国营大厂，也是当时国内收音机生产的重点企业，各方面受到的关照较多，这一点汉口无线电厂就肯定比不了。

机芯正面



◎邱志强

享受宽音场——TECSUN PL-390型收音机的特色解读

以前，我们使用双扬声器立体声三用机收听调频立体声广播，当优美的音乐在耳边响起，真有一种“余音绕梁，三日不绝”的享受。但反观收音机市场，长期以来却鲜见带双扬声器设计的，所谓的“立体声”，通常只是耳机输出时才有。

前不久，当地商场赫然出现一款TECSUN PL-390型横版便携式收音机（见题图），它那双扬声器的外形设计立刻吸引了笔者。细看包装盒上的介绍，确认此收音机并非两个扬声器的简单并联而是真正采用双声道双扬声器设计，抱着“吃螃蟹”的心情买了一台。经过几天的把玩、赏析，发现这是一款很有特色的便携式小机器，现把它介绍给大家。

简况

PL-390是全波段便携式数字调谐、数字解调立体声收音机，其基本参数见附表。

从附表可以看出，PL-390的主要亮点有三：一是拥有较高的灵敏度和选择性；二是不用耳机就可以享受调频立体声，三是可以当移动有源小音箱使用。

外观工艺

PL-390为双扬声器设计，宽、高比接近16:9，看上去自然、舒服。整机的总体设计风格是对称的，但在细节上略有调整，如左扬声器上方的按键为长方形的，右扬声器上方的按键则为圆形的。值得一提的是左边的“LIGHT/SNOOZE”键是橙色的正方形，右边的“POWER”键则是带有一抹鲜艳红色的长条形，这种设计不仅突出了两个基本键的特征，让用户在黑暗中很容易触摸、辨别，同时也使得整个面板风格在稳重中略带活泼，不愧为点睛之笔。

附表 PL-390基本参数表

款式与尺寸	186mm（宽）×89（高）mm× 29mm（厚）
调谐与架构	PLL数字调谐、7种选台方式 DSP数字解调、si4734主芯片
波段与频率	FM：64（76、87、87.5）~108MHz（可选） SW：2300~21950kHz MW：522~1620kHz LW：153~513kHz
调谐步进与切换方式	FM：0.1MHz（快速），0.01MHz（慢速） SW：5kHz（快速），1kHz（慢速） MW：9kHz（快速），1kHz（慢速） LW：9kHz（快速），1kHz（慢速） 快、慢步进自动感应切换
灵敏度与选择性	灵敏度：FM优于3μV（S/N=30dB），SW 优于20μV（S/N=26dB），MW 优于1mV/m（S/N=26dB），LW 优于10mV/m（S/N=26dB） 选择性：FM＞60dB（±150kHz），SW＞60dB（BW=3kHz，±5kHz），MW＞60dB （BW=3kHz，±9kHz），LW＞60dB（BW=3kHz，±9kHz）
存台数量与存台方式	可存550个电台：FM100个，SW 250个，MW100个，LW100个 手动、半自动（一指存）、全自动（ATS）存台，同时具备相应的删台功能
调幅带宽与扬声器输出	五种调幅带宽 双路双扬声器输出、接收调频立体声广播可实现立体声放送（耳机功能同扬声器）
端口名称及附加功能	FM&SW外接天线输入端口、LINE IN端口、耳机输出端口、USB充电/外接电源端口 信号强度/信噪比显示、蜂鸣/广播双闹铃、便携立体声有源小音箱等

PL-390有三种颜色可选：庄重的黑色、清爽的银色和

低调的铁灰色。在当地商场中进行实物比较，发现黑色版的磨砂感较强，银色版的略为光滑，铁灰色版的手感介于两者之间。

整机前后面板结合紧密，接缝均匀。外壳比较厚，特别是前面板的扬声器罩，没有那种软塌塌的感觉。要说不足，一是4个圆形的波段键手感偏硬，二是机器右侧的“TUNING”键和“VOLUME”键背板摩擦，影响了流畅度。

功能特色

1. 收听功能

（1）7 种收台方式：其中“ETM”便捷调谐和“一指存”半自动搜存是德生独创的方法。“ETM”便捷调谐的原理是通过软件设计，预先排除肯定没有电台节目的频率点，仅从可能有电台的频率点中进行搜索，相当于“分子”（电台数量）不变，“分母”（搜索的频率点）变少了，搜索的时间也就大大地减少。“一指存”半自动搜存则是浏览功能和 ATS（自动搜存）功能的整合，每个电台自动播放 5 秒钟左右，在这个过程中，可将需要的电台存储起来，不需要的电台让它溜过去，一次性把喜欢听的电台一网打尽。

（2）短波全段/米波段搜存：短波覆盖频率为 2300~21950kHz，您要是想一览无余地收听所有电台，建议使用全段搜存；如果想要重点收听当前时段的主流电台，只要在某些米波段内搜存即可，这样也可大大节约搜索的时间。

（3）调幅带宽选择和调频立体声开关：PL-390 可选 6/4/3/2/1kHz 调幅带宽，宽一点音质较好，窄一点抗邻频干扰效果较好，这两个指标相互制约，可根据实际情况适时选择带宽，笔者一般在 6kHz 或 3kHz 两挡中选择。当接收的调频立体声广播信号较弱时，可关闭调频立体声解调，虽然没有了立体声效果，但大大降低了噪声，这个功能在具备立体声外放的 PL-390 中显得特别重要。

（4）自动变速调谐：它是怎样实现快慢速的转换呢？很简单——快旋快步进，慢旋慢步进。这种设计可以实现快速粗调、精细定位，让您又快又准地抓住想收听的电台。

（5）场强/信噪比直观显示：通过按压“DISPLAY”键可显示每个电台的信号场强和信噪比。这个功能在短波接收中尤其实用：一般情况下，一个短波电台往往同时使用多个频率进行广播，用户通过查看这些频率的信号场强和信噪比数值，可选择接收效果较好的几个频率收听，这样比以往凭感觉选频率准确多了。

2. 使用的特色

（1）广播闹响/铃声闹响双功能：调好后每天可当两次闹钟——一次广播闹响，一次铃声闹响。其中广播闹响时间为 1~90 分钟可调。

（2）智能照明/操作音选择：开启智能照明，每次操作会自动点亮显示屏背景 3 秒钟，便于操作。开启操作音，则每次操作会自动进行提示音提示。

接收效果

1. FM频段

PL-390的调频灵敏度较高，笔者试听不仅能接收本地6个电台，还收到不少周边县市的电台，接收效果非常稳定，不会因为稍微移动收音机而使接收效果劣化。在测试中还发现一个有趣的现象：改变PL-390天线的长短，收台效果不像传统的机器变化那么大。估计DSP芯片具有天线自适应的特性，就是不管所接的天线长度如何变化，都能让天线发挥最大的作用。

我们都知道，传统超外差调频接收的镜像总是低于收听频率的两个中频，即21.4MHz，笔者特意先收听106.7MHz，再调到85.3 MHz看能否收到106.7MHz的镜像干扰，结果没有。再搜索每个频率点，发现PL-390完全没有镜像干扰！长期以来困扰收音机的难题就这样被解决，这也应该归功于DSP。

分辨率达到惊人的±0.1MHz，体现了非常优秀的抗邻频干扰能力！举个例子：笔者当地有个92.3MHz的电台，附近省市有个92.5MHz的电台，用性能一般的收音机接收，这两个台会互相干扰。现在使用PL-390，很容易把这两个临近的台剥离出来，做到井水不犯河水（见图1）。这一点，也是DSP的长处。

2. SW频段

短波灵敏度让人满意，而且高低端灵敏度也比较均匀，无论是ETM调谐，还是ATS自动搜台都能锁住该锁的台。使

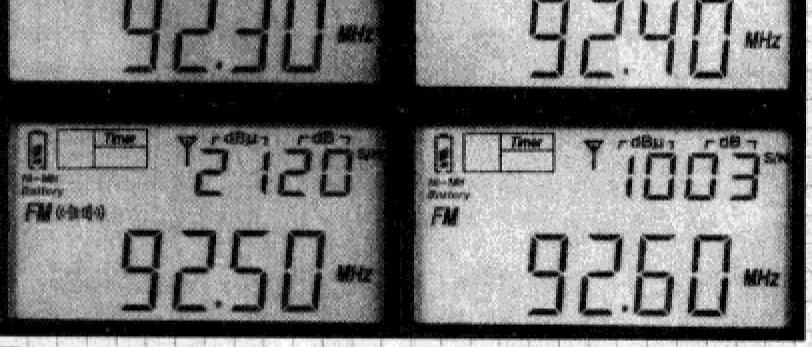


图1

用外接天线的效果比在调频段要明显。除了雷电多发地带，建议把随机附送的外接天线挂好，尽可能地把外接天线中的绝大部分挂在室外干扰较少的地方备用。

即便使用最大中频带宽，抗邻频干扰也比传统的收音机好。如果把中频带宽设置为3kHz，分辨率可达 ±10kHz。这一点即使和传统收音机比，也算是不错的。同样，DSP 收音机在短波上也找不到镜像台。

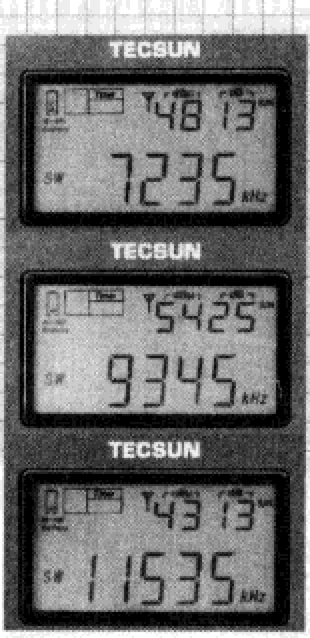


图2

上文提及的场强/信噪比显示在这里就大显身手了，笔者搜索到常收听的一个电台，在早晨6至7点钟使用7235kHz、9345kHz、11535kHz频率同时播出。通过场强/信噪比的比较，确定笔者当地9345kHz信号最好（见图2）。这里要说明的是，在实战中，信噪比的数据比场强重要，所以收听短波时，应该通过改变收音机本身的接收位置和调整天线的位置，以求得到最大的信噪比。

和等价位的传统数调收音机相比，PL-390收听短波中强台方面优势明显，声底干净，声音忽大忽小的情况得到很大的克服，在收听短波弱台时，则背景底噪略大一些，这是PL-390上值得改进的地方。

3. MW和LW频段

中波的接收情况和短波大致相同，仍然体现了中强台接收效果好、选择性超群和没有镜像干扰的优点，不再赘述。另外，PL-390对中波弱台的接收能力要比短波弱台强一点。

中国没有长波广播电台，所以对PL-390的长波接收测试也就没有必要了。

音质评价

PL-390双扬声器立体声重放的优势是明显的，尤其是接收调频音乐，可以感觉到音场变得开阔，音质更加丰满，细节更加丰富。即使关闭了立体声，改为单声道接收，由于声源由一个点变成两个点，感觉更好听一些。但要注意一点：由于PL-390定位仍是便携机，两个扬声器的距离比较近，效果和用音响系统来听调频立体声广播不可能相提并论。

PL-390的扬声器音质属于“不施粉黛”的那种，清淡、平实、细节表现不过不失，刚开始不会让您为之一振，但随之就会对这种声音产生淡淡地喜欢，久听不累后就会回味这种音色的魅力了。

与以往德生附送的耳塞相比，PL-390的随机耳塞音质也有了显著地改善，低频的下潜和高频的延伸已经接近AUDIO-TECHNICA（铁三角） ATH-C502，人声也有了一定的亲切感。目前与铁三角ATH-C502的差距主要是三频的衔接度上。

附属功能

PL-390具备线路输入端口和附送的连接线，可以连接i-Pod、MP3、电脑等，实现外放功能。PL-390更可以使用耳麦同时连接线路输入和耳机输出端口（见图3），实现语音自我监听功能，是学习外语、纠正外语发音的利器。

PL-390的充电/外接电源端口采用USB规格，也是一项很巧妙的改良：充分利用了手机、电脑的USB的5V直流电输出，电源获得方便，不需要另购外接电源，更杜绝了外接电源电压过高或极性接反而烧毁收音机的现象。

说一段题外话，即使是用户最不注意的细节，TECSUN也花了心思：PL-390所配的布包比机器要大一些，原来这个布包是双层的，上层装机体，下层可以装一些配件。笔者把外接天线、耳机、音频连接线和另购的MP3放入配件层中，野外可以用外接天线进行BCL，车上可以使用耳机收听，露营野餐时可以使用MP3外放……每次外出，提了就走，方便至极！

总体评价

TECSUN PL-390型收音机拥有优秀的接收能力，并以独有的双扬声器立体声效果，开创了便携收音机也能享受立体声音效的先河。在此基础上，该机的一些附属功能也大大拓展了收音机的用处，使这一传统的无线电产品也能与时俱进，焕发青春。尽管PL-390并非尽善尽美，但我们有理由相信，它将是国产收音机的一株常青树。

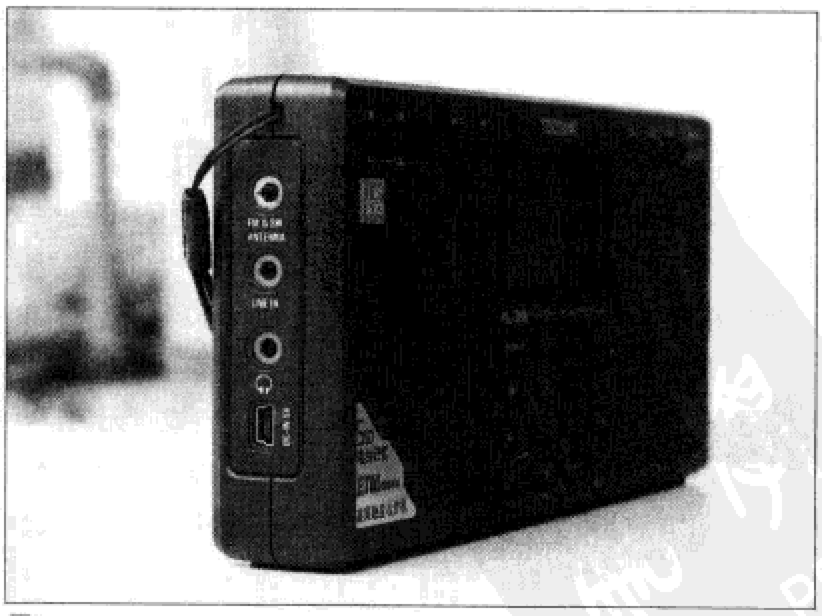


图3

鉴赏与收藏

国产十大台式电子管名机 7

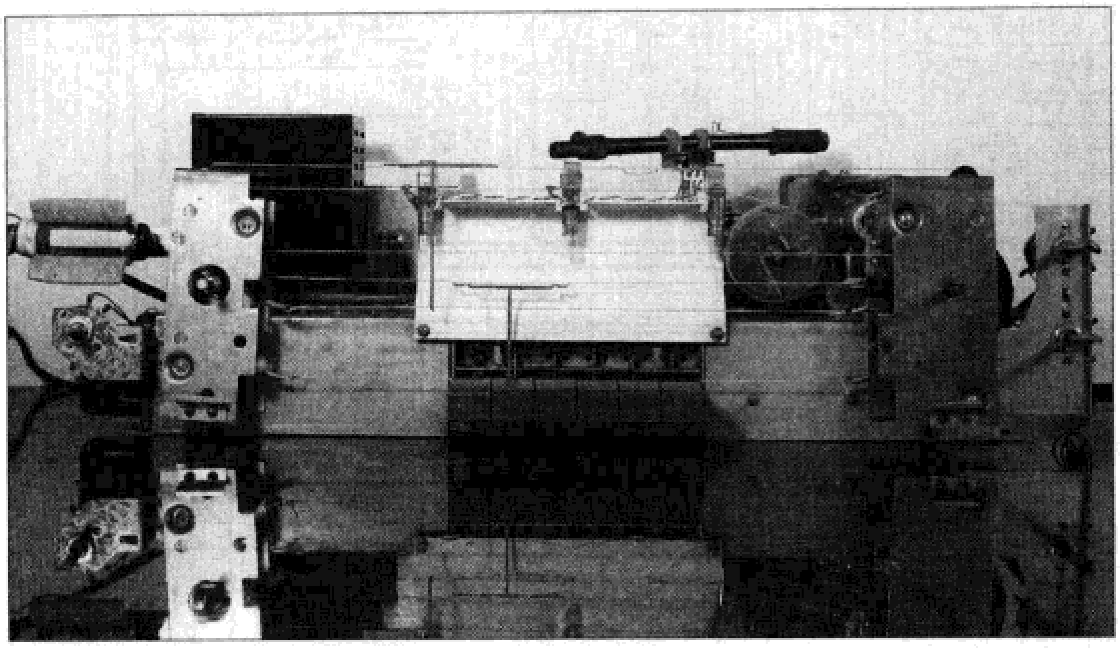
——春雷101型收音机

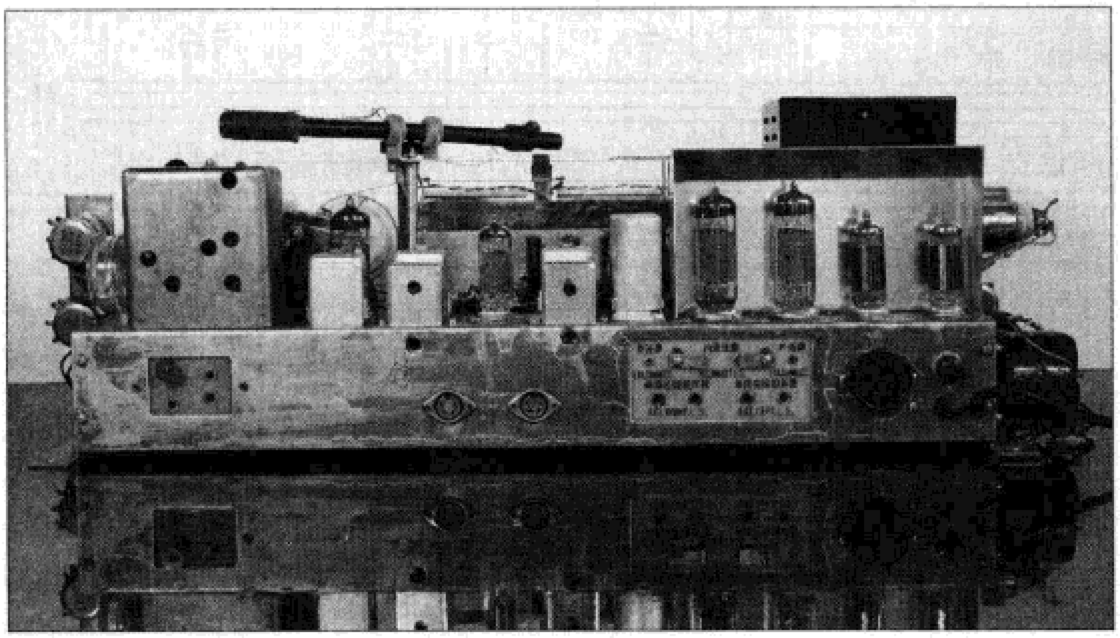
◎陈汉燕
徐　蜀

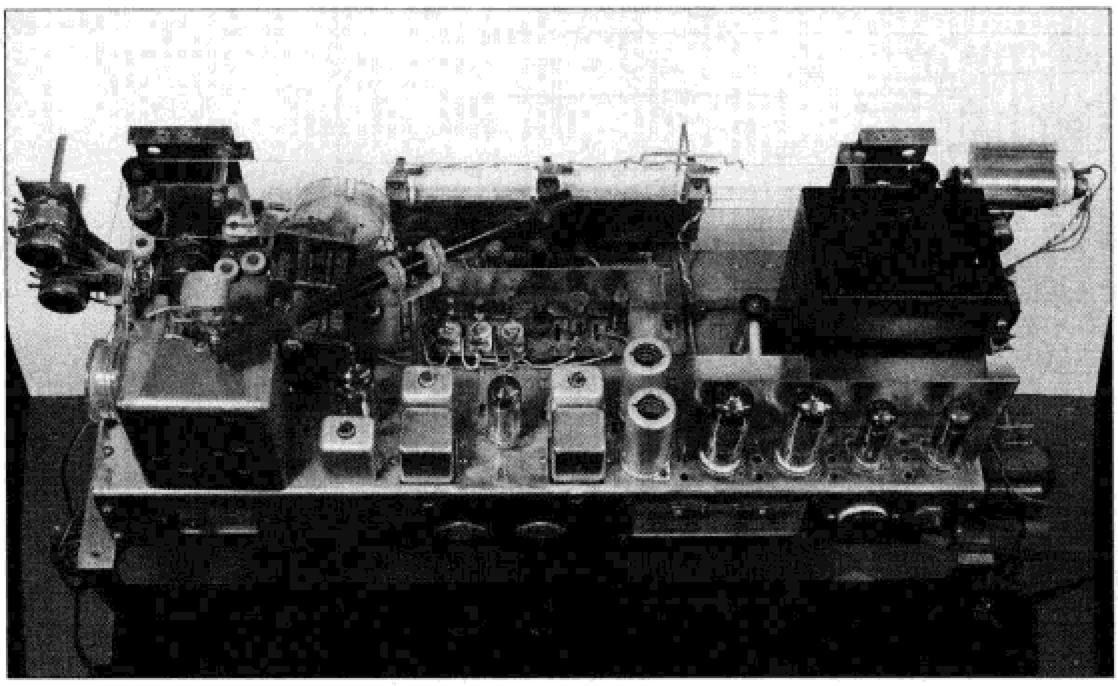
春雷101型10管调频/调幅交流电子管收音机是上海无线电三厂的产品。在十大台式电子管收音机中此机面市最晚，大约1974年开始投放市场。在国产收音机中，春雷101是唯一具有实用调频广播接收功能的电子管收音机。

1960年1月20日，为加快发展仪表电讯工业，上海市政府决定，从轻、纺工业中划出10家大型工厂和市房建筑25.86万平方米，1.85万名职工，一批机械加工设备，支援仪表电讯工业，进行仪表电讯工业的第二次行业性调整改组。同年的1月22日，上海市仪表电讯工业局成立，2月8日正式对外办公，统一管理全市仪表电讯工业，下辖电讯电器、仪器仪表、医疗器械3家工业公司以及32家直属单位。7月21日起，陆续组建成一批骨干企业。1960年8月，上海无线电器材厂和永安第三棉纺织厂合并组建上海无线电三厂（简称上无三厂）。上海无线电器材厂的前身则是历史悠久的宏音无线电器材厂和公利电器厂。“美多”是宏音时代创立并延续至上无三厂时期的收音机著名品牌。“春雷”是后来增加的商标。

上无三厂（及其前身）的收音机与上广电或上无二厂相比，虽然缺少大手笔，却也不乏开风气之先的优良传统。例如，1958年7月，上海无线电器材厂试制成功国内第一台晶体管汽车收音机，于9月27日装置在凤凰牌轿车内。国庆10周年前夕，生产出国内首批美多牌ST2-1-1型晶体管收音机300台，并投放市场，向国庆10周年献礼。ST2-1-1型晶体管收音机，使用7只三


机芯正面


机芯背面

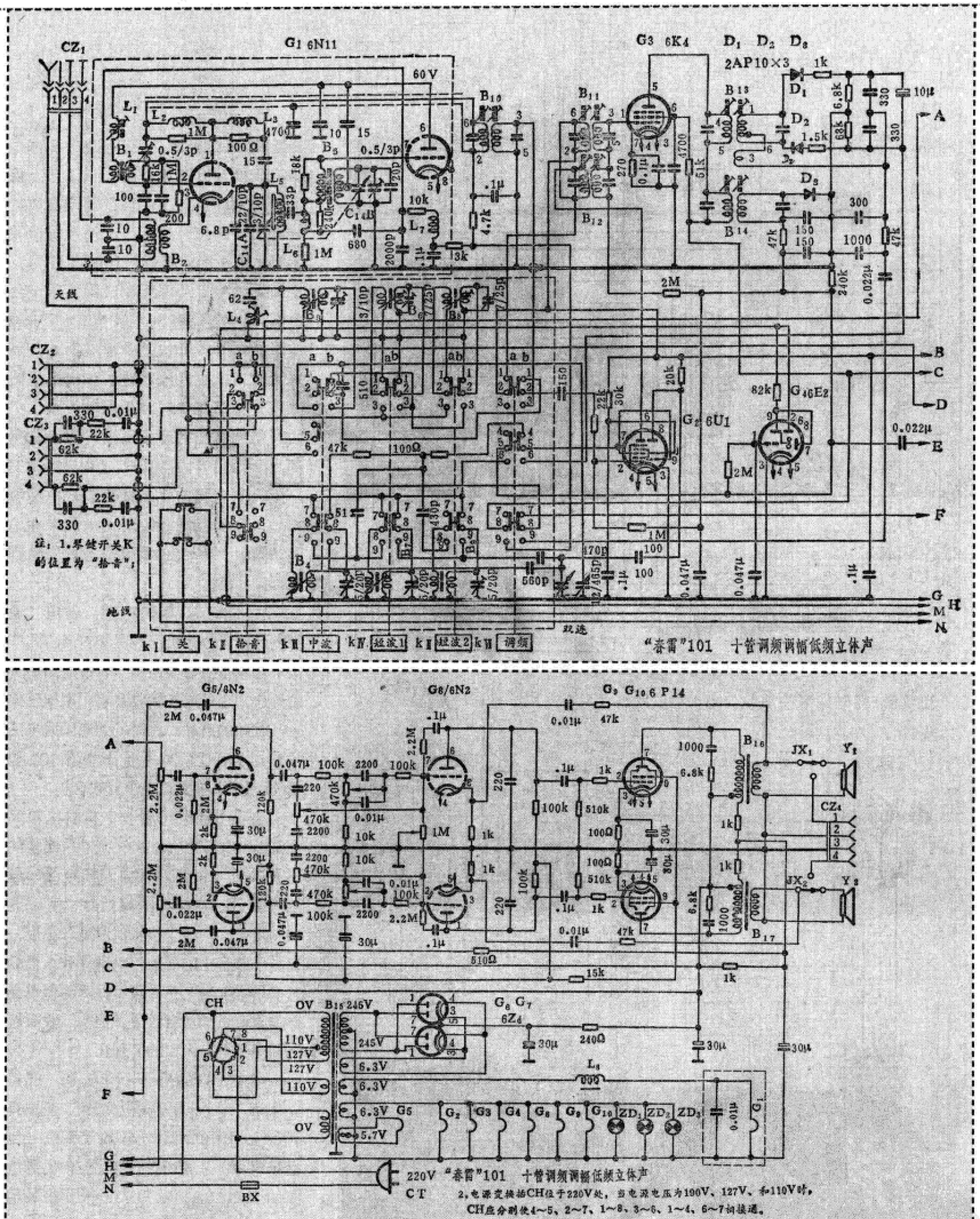

机芯俯视图

极管和1只二极管，应用浸渍法印制电路，表面涂以环氧树脂，从工艺上保证线路绝缘。首次实现了国产晶体管收音机商品化，奠定了上海半导体收音机批量生产的基础。1962年10月，上海无线电三厂率先制成国内第一台全国产化美多牌28A型便携式8管中短波段晶体管收音机，并建成第一条晶体管收音机生产流水线。该机采用超外差式线路，中短波用磁性天线，机内有特制高灵敏度扬声器，声音宏亮动听。1963年1月20日，上海无线电三厂生产的全国产化晶体管收音机投放市场。当年，国务院总理周恩来在出国访问中，美多28A型晶体管收音机列入国家礼品。

20 世纪 70 年代中期，省电、便携的晶体管收音机已在民间普及，国产电子管收音机日薄西山，行将退出历史的舞台，众多电子管收音机厂家早已停止开发新的产品。此时，上海无线电三厂却逆势而上，一举推出春雷 101 型 10 管调频调幅交流电子管收音机。

春雷101型10管收音机的机箱尺寸68cm×305cm×245cm，系典型的“长条机”，而且正面无扬声器，属国内首创。这样做的好处是，可以充分利用空间，减少机箱的厚度和高度，有利于收音机的摆放。从理论和人们的习惯思维上看，正面没有扬声器似乎会影响收音机的放音效果，但实际收听起来却没觉得有太大的区别。

春雷101的另一个创新是“低频立体声”。所谓低频立体声，就是具有完全相同的两套低频放大系统（包括扬声器）。我们知道，国产收音机中的上海133、牡丹911等虽然采用了双路功放，但主扬声器只有一个；其中的一路功放仅负责分频后的中高音输出。春雷101的“低频立体声（双6P14）”加上分置于机箱两侧的主扬声器系统，输出功率和声场的效果自然不俗，完全可以弥补机箱尺



注：1.琴键开关K的位置为“拾音”；

“春雷”101 十管调频调幅低频立体声

“春雷”101 十管调频调幅低频立体声

2.电源变换插CH位于220V处，当电源电压为190V、127V、和110V时，CH应分别使4~5、2~7、1~8、3~6、1~4、6~7间接通。

【说明】1.主要技术性能

频率范围：中波535~1605KHz，
短波₁ 4~8.5MHz，
短波₂ 8~18MHz，
超短波（调频）88~108MHz。

灵敏度：中波不劣于1mV/m；短波1.2不劣于100μV；
超短波不劣于30μV(300Ω输入)。

选择性：中波和短波不劣于26dB(1000KHz)；
超短波不劣于20dB。

扬声器：165mm永磁式×2(阻抗4Ω)。

输出功率：额定1W+1W(两个通道)。最大(3W+3W)。

使用电源：110V、127V、220V，50Hz。

2.使用电子管及各极电压值：6N11调频高放及变频，中频放大来复.6U1调幅变频兼调频中频放大；6K4调频调幅中频放大；6N2×2低频放大(二个通道)；6p14×2功率放大(二个通道)；6Z4×2整流；6E2调谐指示。

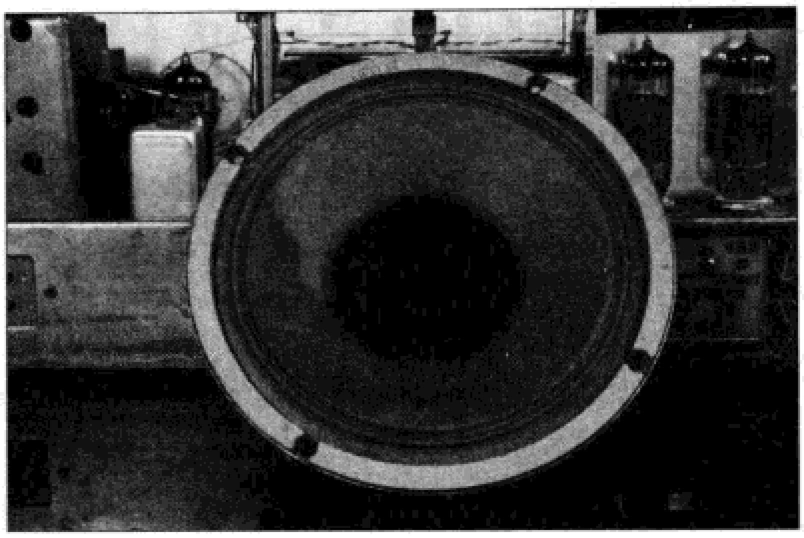
3.电感元件数据

电源变压器(B_{15})，采用C型铁芯CD16×32×65mm。

电源变换：110V~1′，3′和1、2接成并联；
127V~1′，4和1、3接成并联；
220V~2，3′接成串联。

电路图（原始资料）

寸较小的不足。值得指出的是，不少人往往过度迷信收音机机箱和扬声器的大尺寸。其实，从广播接收的技术层面看，收音机的实际频响十分有限（尤其调幅广播），200mm或更大口径的扬声器实无必要，甚至有害（大口径扬声器灵敏度低、箱声重、交流“哼”声更明显）。对于6P1、6P14一类的功放管，165mm口径应该足够了。春雷101使用了2只飞乐牌YD2-1653型双纸盆扬声器，能够恰到好处的还原广播人声与音乐：低音醇厚而不过分，中高音明亮而不刺耳。与一些大口径扬声器、大箱体的收音机对比，春雷101的广播味更浓郁、音色更自然耐听。

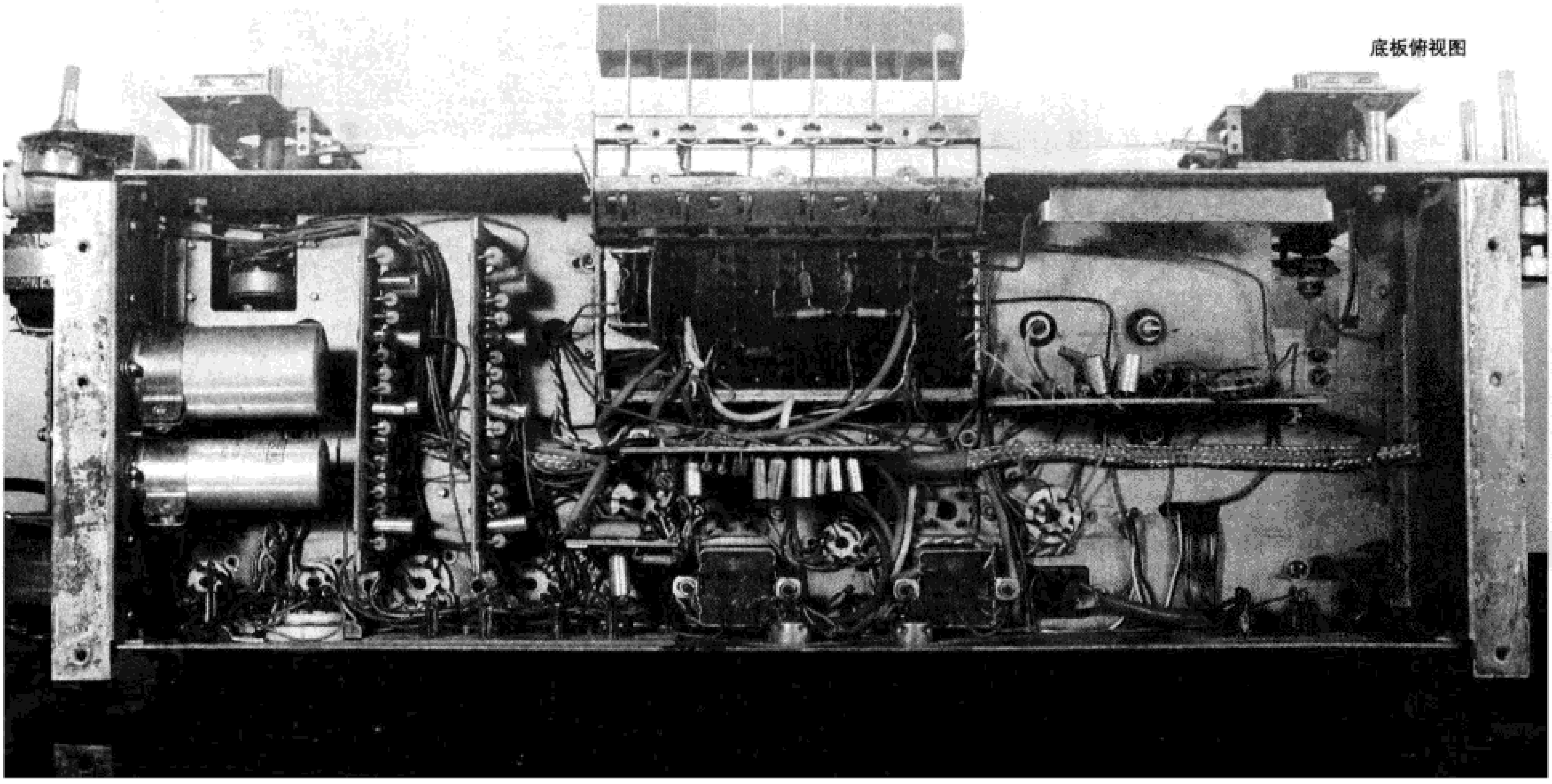


扬声器

从机器的整体布局、工艺，以及元器件的选用来看，春雷101比20世纪50年代和60年代的国产收音机有了明显的进步。首先，几乎与机箱等长的度盘，美观大方；度盘上虽聚集了收音机所有的调节显示功能。由于字符标识简洁，让人一目了然，易于使用者操控。值得特别表扬的是，春雷101对调节旋钮及相关系统进行了较大的革新：取消了过去国产机和洋机惯常使用的套钮、半卧式音调片状旋钮（此钮使用时用力不均且结构单薄，极易损坏），实行一钮一功能，不仅使用方便，还简化了机器内部的传动结构，使其更加结实耐用。旋钮的材料和工艺设计也很考究，因此，笔者至今所见到的春雷101，旋钮丢失损坏者极少。另外，机器的底板及其他金属件也使用了较厚的板材，比较坚固（整机重量达到16kg）。电源及输出变压器采用C型铁芯，减少了干扰、提高了效率。设计者还对各级电子管、电源变压器、音量电位器及一些电路的元件进行了分隔屏蔽，这在国产电子管收音机中是很少见的。正因为如此，在干扰源众多，收音机中波接收质量大幅下降的今日，春雷101的中波接收效果却非常理想，干净利落的程度与调频广播相差无几。

其实，春雷101型收音机是落地、台式两用机，收音机出厂时，除已安装好的4个短腿外，厂家还为使用者提供了4根尺寸约39cm高的长腿。但实际使用中，放在桌子上的用户居多，日久天长，不少收音机的长腿便丢失找不到了。收藏者买到的机器多数缺失了长腿。相同品相的春雷101，有无长腿，价格可相差1000元以上。

底板俯视图



全数字RDS数据广播技术应用
——数字无线寻址广播

◎唐亚军

目前全国正在开通“村村通”工程，这项工程大量应用到调频寻址可控调频广播。但目前普遍使用的寻址可控技术落后，可靠性差，进口的又不适合国情。爱可电子自2002年引进ROHM公司单片数字锁相环芯片BH1417以来，一直潜心致力于无线调频广播技术的研究和开发，并于2009年年底成功开发出模块式RDS。RDS是英国BBC广播公司开发的“无线数据广播系统”（Radio Data System），利用其仅占极小带宽的数据通道的特点，可在不影响原音频广播的基础上同步传送数字信号，如电台名称、同步歌词、时间、路况等信息。

较之SCA系统，RDS系统占用带宽极小，对载波的调制度也很小，所以对原音频广播几乎不产生任何影响，是理想的数据广播技术。如图1所示。

那么我们可以利用这个附加的数据通道做些什么呢？

我们可以在一边发送音频节目的同时，在数据通道上发送各种数字控制信号，来实现诸如控制接收机音量大小、电源开关、歌词显示等有趣的功能。利用这个数据通道还可以很轻松实现如数字寻址广播、真正无信号静音的无线耳机、图文广播等。本文仅介绍利用此技术开发的可寻址调频收发模块，其他功能可在改进此模块的基础上得到。

RDS系统的核心是美国进口单片数控调频发射芯片，该芯片内置DSP（数字信号处理），可实现包括数字频率合成、数据调制、数模转换、数字音频输入接口等全部功能。

这款芯片的射频信号不再采用普通的PLL数字锁相环，它采用了更为先进的DSP技术来完成频率合成。这样得到的频率更精准，频谱更好，因为不再使用电感和电容作为频率振荡器，所以它几乎不受外部环境（如温度、电磁等）干扰，这样能得到更理想的调制特性，这是数字锁相环技术远不能相比的。

另外，它的调制也与传统调制方式不同。它是全软件数字式的，模拟音频进入芯片后，先进行预放大处理，再经过一个AD模拟数字转换器才进入DSP进行数字化处理，然后再经DA转换进行调制。因为不受硬件条件的约束，所以它的调制特性是最接近理想调制特性的，从而实现远远超过普通调频广播的高保真音质，并且立体声分离度极高。

为了更方便地应用，我们根据寻址调频广播的所有需求，对此技术进行了模块化。发射模块如图2所示，两个复功能键，除了可进行发射频率设定外，还可对事先编好号码的接收机，进行开、关机控制的管理操作。专门开发的多功能大型液晶屏除显示频率外，还动态显示目前接收机的状态，如哪些号码的接收机是开机的，哪一些是关机的等等。模块采用12V供电，附带有音频输入接口。射频场管推动输出功率500~800mW。

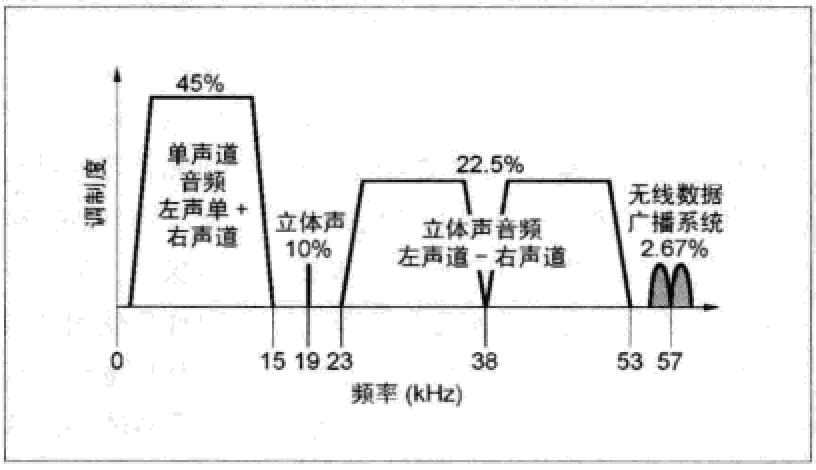


图1 频率变化与调制度的关系

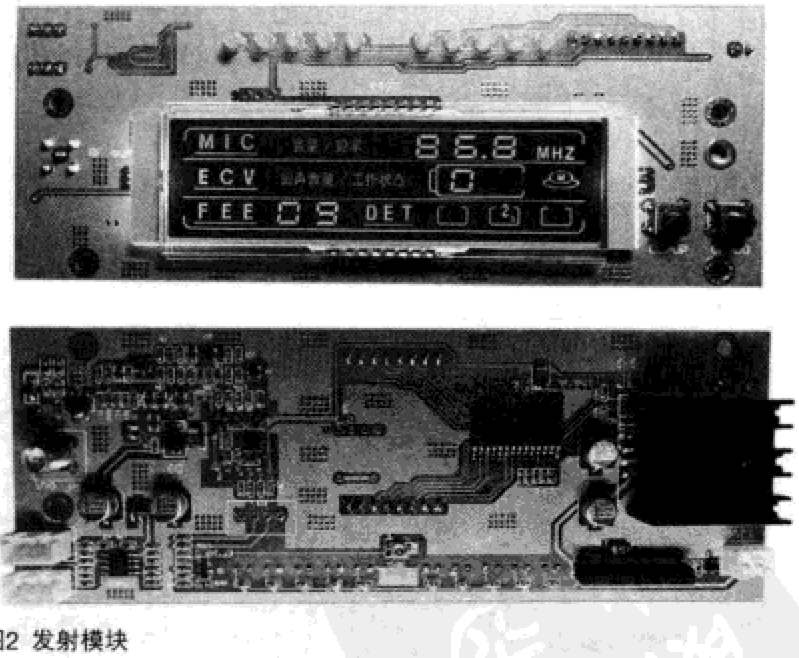
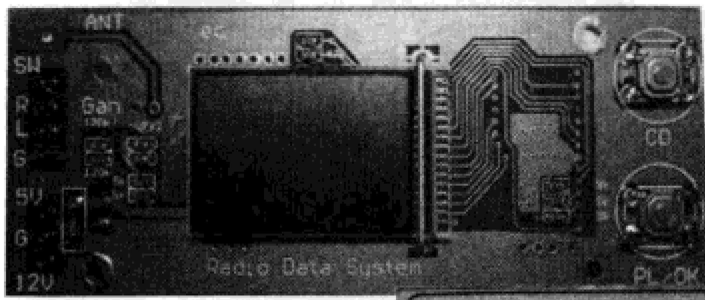


图2 发射模块



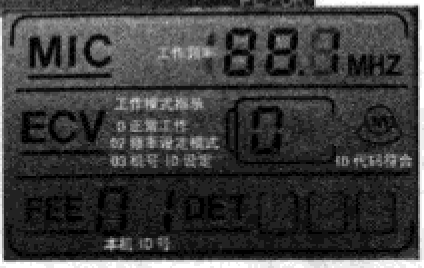


图3 接收模块

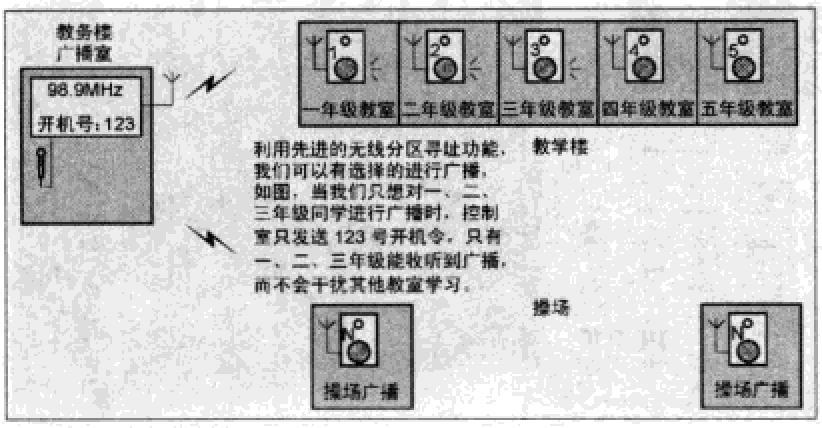


图4 校园寻址广播系统

接收模块及显示功能如图3所示，FEE后面的数字01是由用户自行给这个接收板设定的身份ID识别号。它就像手机号码一样，当发射机发送这个号码时，接收机检测到后，开机并解除静音，同时输出高电平信号以控制外部功放电源开关。

接收机同样只设有两个按键，由于采用了和发射机一样的菜单式设计，接收机的操作与发射机一一对应，操作极方便。

利用此模块可方便地组建校园寻址广播系统、公共小区寻址可控广播系统等，应用十分广泛。

相比普通校园调频广播，此系统增加了可寻址功能后，具有了很高的选择性，我们可以有选择性地对特定班级进行广播，在广播时不影响其他班级。如当有通知发给一、二、三年级，我们可以在发射机上控制，只让一、二、三年级教室的音箱发声，而其他教室及操场的音箱是静音的，如图4所示。

对于小区进行物业管理同样方便，如需要通知3栋业主缴纳物业管理费，只需单独对3栋进行广播，而无需打扰其他住户。真正创建和谐社会环境，消除高音噪声污染。

通过这一技术平台，只要稍加改动，还可以开发出实时传送文字和简单图片的图文广播发射机，这样可实现更多功能，应用前景无限。

相关产品图片详见本期目录页（第3页）广告。

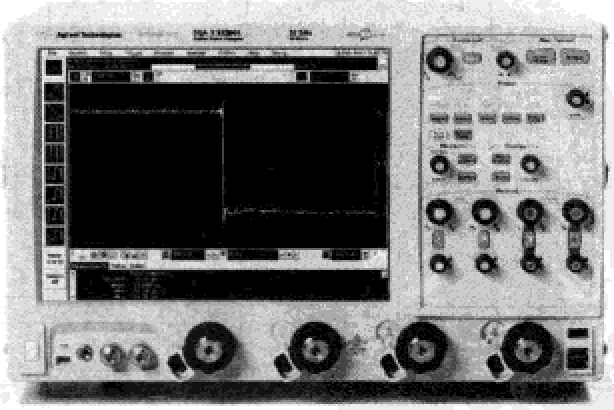
Allegro推出新款正交霍尔效应双极开关

Allegro MicroSystems公司发布新款双通道双极开关A1230。该开关是灵敏度高、温度稳定的磁性感测器件，开关内部带有2个霍尔效应传感元件，每个元件都可为速度和方向信号处理提供独立的数字输出。霍尔元件均采用光学平版印刷，校准精度超过1 μm。A1230是在严苛的汽车和工业环境下用于感测环形磁铁速度和方向系统的理想之选。

安捷伦推出 Infiniium 90000 X系列示波器

安捷伦科技公司推出 Infiniium 90000 X 系列示波器产品，该系列提供 10 个带宽可以升级的最新型号，实时带宽范围为16~32 GHz。新款示波器具有业界最低的本底噪声和本底抖动，能够确保卓越的测量精度。

该系列示波器为高能物理、新兴有线通信标准和高速串行数据链路（例如 USB、SAS、PCI Express®）等相关工作的应用需求而设计，这些工作经常需要使用示波器捕获快速或偶发事件和单次事件，并进行关键的测试与测量（例如抖动测试），从而确保产品符合行业互操作性标准。



关键特性

本底噪声：在50mV/格、32GHz带宽时小于2mV，示波器固有抖动：大约180fs，存储深度：2Gpts 。

细说DSP收音机

近年来，“DSP”收音机占领了收音机市场的半壁江山。那么到底什么是DSP收音机？和传统产品相比它们又有哪些特点？将来的DSP收音机产品会是怎样的？笔者在此谈谈一些看法。

◎陈平

DSP收音机的原理

DSP是“数字信号处理(Digital Signal Processing)”的简称。实际上早在十几年前，DSP收音机就以附加功能的形式存在。如MP3、手机中的调频收音功能，无一例外地使用了DSP芯片。但仅仅把收音机作为产品的附加功能，对于广播爱好者来说是远远不够的。随着DSP芯片的开发，市面上逐渐出现了独立的DSP收音机产品。简单地说，DSP收音机接收原理是：广播信号由天线感应接收→DSP处理（含信号放大、信号模数转换、数字信号处理、信号数模转换）→功率放大→播放。图1所示的是DSP收音机的原理方框图。

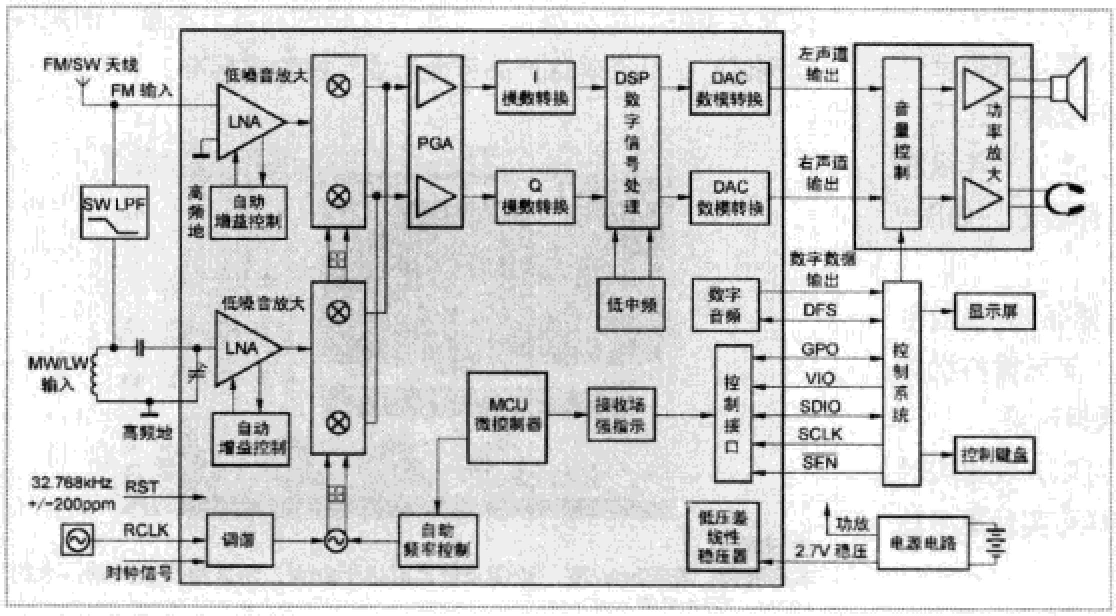


图1 DSP收音机原理方框图

可以看出，DSP收音机外围电路大大简化、几乎不需要调试、制造难度低，有利于提高产品的一致性、降低故障率和大规模生产。另外据了解，DSP芯片价格不贵，DSP收音机成本和售价低于同档次传统收音机。正是由于这些优势，DSP收音机才如火如荼，方兴未艾。

DSP收音机的现状和性能

市面上的DSP收音机如雨后春笋，但论品种和总体效果，“德生（TECSUN）”牌产品当之无愧地站在了第一线，成为国内收音机的第一品牌。作为DSP芯片制造商美国SILICON LABS公司的战略合作伙伴，TECSUN近年来在DSP收音机的研发上不遗余力，目前共计有3个系列9款产品。

表1 PL-310、PL-450比较一览表

		PL-310	PL-450	备注
款式		便携式/横版		
尺寸（mm）		宽141×高87×厚30	宽141×高87×厚28	
调谐方式		数字调谐		
核心电路		DSP数字解调 芯片：si4734 （美国 SILICON LABS 公司生产）	传统高中频二次变频 调幅第一中频：55.845MHz 调幅第二中频：455kHz	
接收波段及频率范围	调频	64/76/87/87.5~108MHz可选	76/87/87.5~108MHz可选	两机都具备调频耳机立体声输出
	短波	2300~21950kHz	1711~29999kHz	
	中波	522~1620kHz （520~1710kHz北美制式可选）		
	长波	153~513kHz	100~519kHz	
调谐步进（标准 / 精细）	调频	0.1MHz/0.01MHz		PL-310自动切换步进快慢，PL-450可自动/手动切换步进快慢
	短波	5/1kHz		
	中波	9（10）/1kHz		
	长波			
灵敏度	调频	优于2μV（S/N=30dB）	优于3μV（S/N=30dB）	
	短波	优于20μV（S/N=26dB）		
	中波	优于1mV/m（S/N=26dB）		
	长波	优于10mV/m	优于1.2mV/m	
选择性	调频	>60dB	（无标称）	
	短波		>28dB（±5kHz） >45dB（±7kHz）	
	中波			
	长波			
调频分离度		优于35dB	（无标称）	
调台方式		自动搜索存储电台（ATS）/手动搜索电台频率/直接输入频率数字/手动搜索预存电台/直接输入预存电台地址数字/自动浏览电台频率/自动浏览已存储的电台		PL-450自动搜索存储电台（ATS）功能仅限能在调频/中波内连续进行
存台数量及方式		500个（调频100个+短波200个+中波100个+长波100个） 可手动、半自动、全自动(ATS)储存	600个〔100个自动（ATS）存储+500个跨波段分页存储〕 分页存储可设置成10/20/25/50个页面	两机均可手动、半自动、全自动（ATS）储存
提高接收能力的特色功能	调频最佳灵敏度微调	无	有	
	调幅带宽选择	6/4/3/2/1kHz带宽可选	宽/窄带宽可选	
	调幅二次变频	无	有	
	调频/短波灵敏度控制	无	高/中/低三挡可选	
	调频/短波外接天线插口	有		
提高收听效果的特色功能	高低音调控制	无	有	
	调频立体声/单声道转换	有		
其他功能	闹响	蜂鸣/广播闹响	广播闹响	两机广播闹响时长均1~90分钟可调
	自动关机	1~120分钟可调		
	充电方式	USB充电口	标准充电口	
	音量调整	数字音量调整	传统音量调整	
屏幕显示及照明	信号强度/信噪比	使用精确的数字显示	使用强度条显示信号强度，不能显示信噪比	
	温度	有	无	
	其他	电台频率/调频立体声/波段/短波米波段/存储地址/当前时间/闹响时间/电池电量显示均有		
	智能照明	有		
其他指标	电源	3节5号（R6）电池		PL-450还可使用附送的外接电源/充电器
	机内扬声器	57mm/16Ω纸盆扬声器×1	16Ω/250mW纸盆扬声器×1	
附送配件	立体声耳塞、保护套	有		PL-310耳塞音质较好
	稳压电源	无	有	
	外接天线、	无	有	
	镍氢充电电池	无	有	
官方售价*		228元	368元	官方购买PL-310可另加28元购买3节镍氢充电电池和一条USB充电连接线

*淘宝参考价　PL-310:约195元　PL-450：约285元

其中钟控式的产品有MP-300、CR-300DSP、CR-220DSP（三款）。MP-300具备调频接收和通过USB插口播放MP3功能，CR-300DSP和CR-220DSP具备调频接收功能。小台式的产品有CR-1100DSP（一款），具备调频/中波接收功能，使用音质优美的4英寸扬声器。便携式的产品共计有PL-300wt、PL-310、PL-380、PL-360、PL-390（五款）。它们都具有调频/短波/中波/长波全波段接收功能，PL-300wt设有世界钟，适合全球出差的人使用，PL-310使用纸盆扬声器，音质柔和，PL-380首次采用德生独创的ETM（Easy Tuning Mode）调谐，大大缩短了自动搜存电台的时间，PL-360是PL-380的去键盘版，体积细长，适合手持，PL-390则是PL-380的立体声外放版，用本机的双扬声器即可享受调频立体声。当然各个机型之间的外观、功能、性能指标还有其他的一些差异。有兴趣的读者可以上德生官网http://www.tecsun.com.cn/查询。

广播爱好者最关心的，恐怕是DSP收音机和传统收音机孰优孰劣。下面笔者主要以TECSUN PL-310和PL-450为样机进行比较。选择它们的原因，是这两部收音机的对比点最多。

（一）PL-310和PL-450基本对比

PL-310和PL-450均为调频/短波/中波/长波全波段便携式数字调谐收音机（图2）。两机短波覆盖频率差异不大，也都具有几百个电台存储功能。它们最大的区别是，PL-310为DSP收音机，而PL-450为传统电路二次变频收音机。两机的具体异同见表1。

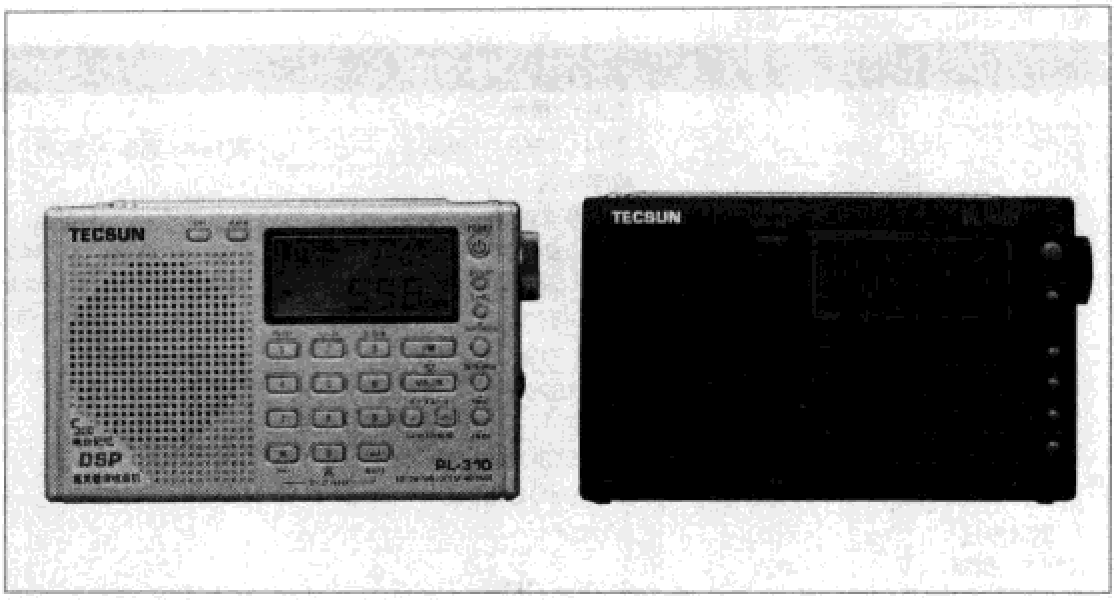


图2 PL-310收音机（左）和PL-450收音机（右）外观

（二）收听效果对比

接收能力的对比分为两部分：在室内主要进行强信号、中等信号接收比较，这是基于日常收听的考虑，室外则进行弱信号接收对比，这是基于远程接收（BCL）的考虑。

1. 灵敏度

两机各波段灵敏度基本相当。但在对比中发现PL-310存在信号接收阈值，不接收非常微弱的广播信号。当信号微弱于某个极低标准时，干脆就切掉。所以在远程弱信号接收方面，DSP收音机不如传统收音机。

在日常收听中，有时候不方便展开或全部展开拉杆天线。对比中发现，在天线没有完全展开的情况下，PL-310接收中、低强度电台的灵敏度高于PL-450，而且天线越短，这种优势越明显。原因是DSP芯片自带天线自适应系统，无论天线多长，都能自动调整到最佳接收状态。这也是DSP收音机一般不带调频/短波灵敏度选择功能的原因。

2. 选择性

调频方面，PL-310接收强台时，中心频率偏差±2.0MHz以外再无干扰，PL-450则延伸到±3.0MHz（图3、图4、图5中请注意屏幕信号强度显示）。DSP收音机的调频邻频选择性明显胜出。

当PL-310把调幅带宽置于“宽带”时，与PL-450的窄带接收效果相当，而此时PL-310的音质稍好于PL-450。可见DSP收音机的调幅选择性也好于传统收音机。再加上DSP收音机普遍具有6/4/3/2/1kHz多种带宽选择，如果把带宽设置成4kHz或3kHz，抗邻频干扰的优势更明显，而且对音质影响也不大。

3. 抗镜像

PL-310在各波段接收中均没有发现镜像干扰。PL-450由于调幅使用二次变频，所以也不存在镜像（图6、图7，图7中PL-310信号强度显示非零，并不是电台信号，而是外部电磁对调幅的干扰）。

当把PL-450的调频接收频率设置成76~108MHz时，来自97.4~108MHz的广播强台镜像会落在76~86.6MHz上。不过这一点不是问题，因为我国的调频广播频率是87~108MHz，带内不存在镜像。

总体来说，DSP收音机抗调幅镜像效果和二次变频传统收音机持平。DSP收音机在抗调频镜像干扰上具有很大的优势，但对于日常调频广播接收则意义不大。

4. 底噪

两机接收强信号电台时，PL-310的背景非常安静，没有多余的声音。PL-450虽然也没有可闻的噪声，但背景没有PL-310那么安静。接收中等强度信号电台时，两机底噪都控制得不错。虽没有高低之分，但听感还是不同。

在接收弱信号电台时，PL-310的底噪比PL-450要严重，噪声频谱分布较宽。

评价：DSP收音机在收听强台时声音干净，但收听弱台时噪声相对严重些。

5. 音质

音质对比的结果和底噪的对比类似：接收信号好的电台，PL-310的扬声器、耳机音质简洁明快，让人十分过瘾，但PL-310对微弱信号的还原有一种“数码味”，就像是听低码率编码的MP3的感觉，有人说这是声音频率的轻微抖动，广播爱好者则把这种声音形象地称之为“流音”或“滑音”。PL-450接收强弱台的音质差异比较温和，不像PL-310般好坏分明。看来传统收音机在弱电台的接收音质上还是具有优势的。

6. 电力消耗

两机均为3节5号电池设计，在使用频度、收听音量差不多的情况下，DSP收音机PL-310远比传统收音机PL-450省电。当然要是您使用充电电池，这一点就不那么重要了。

7. 其他对比

由于PL-310和PL-450均不具备各自收音机阵营的全部功能，所以笔者再借助功能更加完善的DSP收音机PL-380和传统收音机PL-600进行继续对比。一是验证上述结论是否具有代表性，二是发现DSP收音机的其他特点。笔者把DSP收音机中特色功能补充如下。

DSP收音机普遍具有信号强度/性噪比显示（图8），这个功能对接收短波信号极为有用。我们知道短波广播往往同时使用多频率播出，利用DSP收音机可以准确便捷地找到一组信号中接收效果最好的一个。使用中发现，在选择信号时，更应注重性噪比数据而不是信号强度数据。对比传统民用收音机，DSP收音机独具的信号强度/

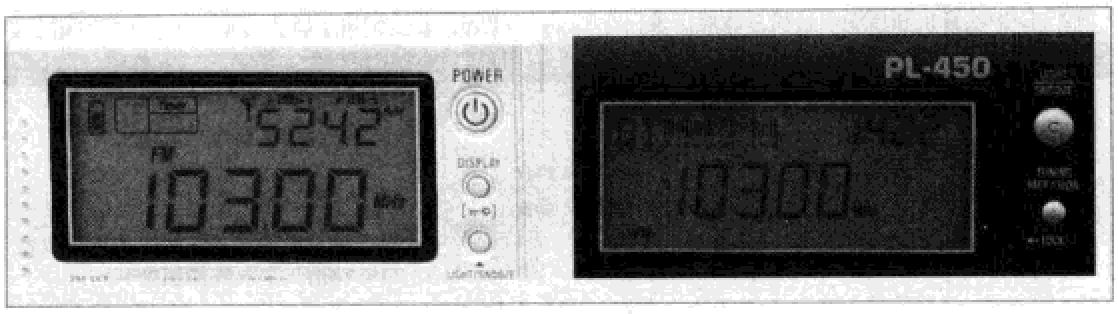


图3 两机同时接收调频广播强台

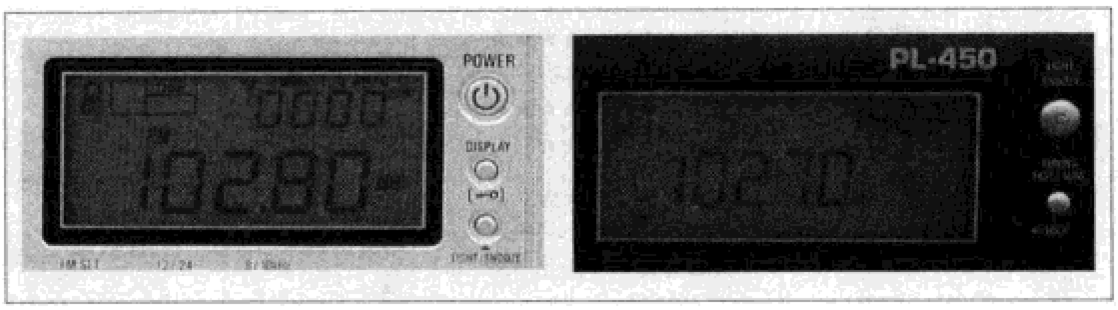


图4 往下调偏频率避开强台信号，PL-310（左）只需调偏-0.2MHz，而PL-450（右）要调偏-0.3MHz

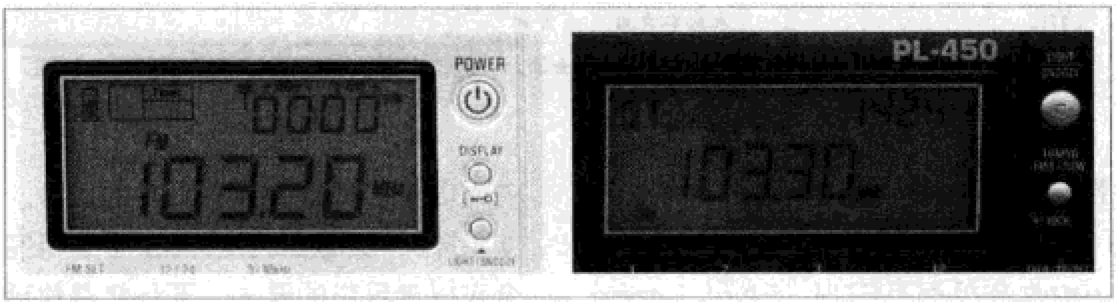


图5 往上调偏频率避开强台信号，PL-310（左）只需调偏+0.2MHz，而PL-450（右）要调偏+0.3MHz

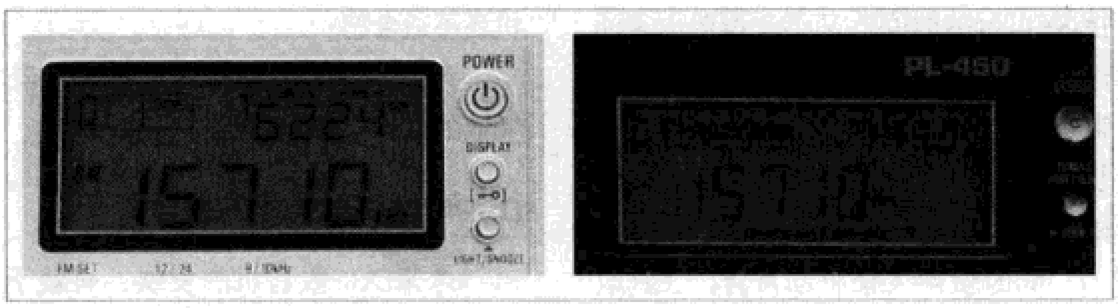


图6 两机同时接收短波强台15710kHz

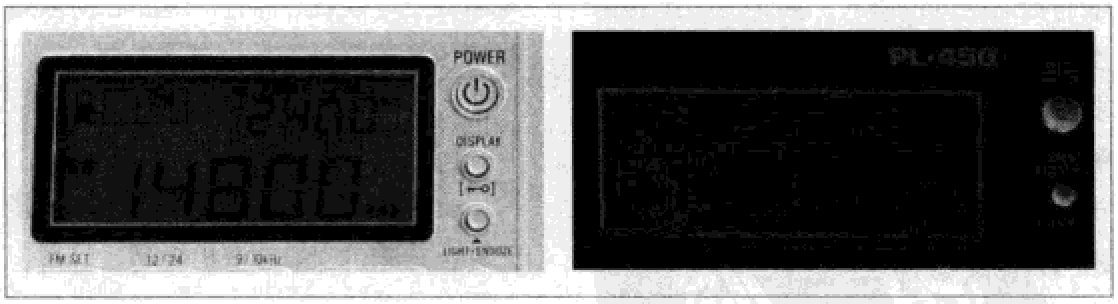


图7 14800kHz为15710kHz的镜像频率，如果在14800kHz收不到15710kHz的广播信号，则表明收音机的抗镜像效果好

图8 屏幕右上角的dBu表示信号强度，dB表示信噪比

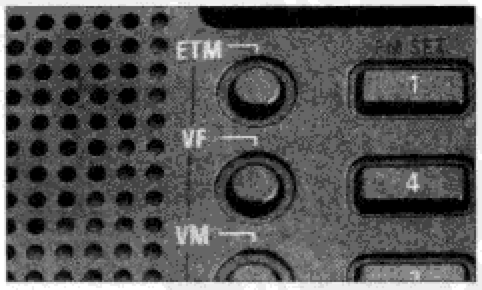


图9 PL-310上的ETM键

表2 DSP收音机和传统收音机总体对比表

		DSP收音机	传统收音机	备注
灵敏度	强信号	基本相当		传统收音机在弱信号胜出
	一般信号			
	弱信号	★★	★★★	
临频选择性		★★★★★	★★★	DSP收音机明显胜出
抗镜像		基本相当		广播频段内均无。这里的“传统收音机”特指二次变频的机型
底噪	强信号	★★★★★	★★★★	强信号时DSP收音机胜出，反之传统收音机胜出
	一般信号	各有不同，总体相当		
	弱信号	★★	★★★	
音质	强信号	★★★★★	★★★★	（同上）
	一般信号	各有不同，总体相当		
	弱信号	★★	★★★	
耗电量		★★★★	★★	
信号强度/性噪比显示的实用性		★★★★	★★	传统收音机一般只有信号强度的大致显示
ETM（Easy Tuning Mode）收台功能		★★★★	无此功能	只有部分DSP收音机具备ETM收台功能
静噪		有	无	无静噪的传统收音机在连续手动搜台时更快捷
性价比		★★★★★	★★★	

（★★★★★表示很好，★★★★表示较好，★★★表示一般，★★表示较差，★表示很差）

性噪比显示真是太有用了！

TECSUN PL-380、PL-360、PL-390收音机都有ETM（Easy Tuning Mode）收台功能，大大缩短了自动搜/存电台的时间，又不会覆盖原来通过其他方法存储的电台频率。这种一键OK的功能非常适合在异地使用收音机。这个功能也是建立在DSP芯片的基础上的。

同时使用飞梭手动搜台，DSP收音机普遍存在静噪，即频率每变化一下，就有极短时间的静音，如果飞梭旋转速度较快，几乎连续的静音就会掩盖了微弱的电台。而中高端的传统收音机没有静噪，即使快旋飞梭，也不会遗漏任何电台。估计DSP芯片在接收频率变化瞬间会有噪声，所以用静噪来掩盖。

在业余频段的接收上，DSP收音机目前还无能为力。现在市面上的民用DSP收音机均不具备短波单边带（SSB）接收能力，但传统中高端收音机常有这个功能。

以上是两大阵营的同档次收音机的使用对比，现小结如表2所示。

由此可见，DSP收音机和传统的中端收音机相比，拥有更多的优势。如果您以常态收听为主，DSP收音机完全可以满足您的要求。要是您喜欢玩远程弱信号接收，那么目前的DSP收音机还不适合您。

一句话总评：DSP收音机——花低端的钱，买中端的货。

DSP收音机的未来与展望

未来DSP收音机的发展，有赖于DSP芯片的发展和对DSP芯片的运用。笔者立足于现在，推想未来的DSP收音机应该会朝着以下几个方面发展。

（一）外观多样化

一块小小的DSP芯片可代替大量元件，未来的DSP收音机会朝着轻薄、小巧的方向发展，甚至出现超薄型、卡片式收音机，方便人们锻炼、休闲使用。实际上DSP收音机的电路板可以做得很小，这就大大拓展了外观的设计空间，未来的DSP收音机有望改变千篇一律的四方形外观，各种各样的“艺术外观”的收音机将成为家庭中既漂亮又实用的广播接收设备。

（二）频率拓展化

民用DSP芯片经历了单调频接收到多波段接收的研发历程，有理由相信：将来一定会开发出带SSB接收、带航空波段接收、带电视伴音接收的新IC，以满足广播爱好者“什么都能收”的要求。实际上在专业领域，ICOM、KENWOOD、YAESU、AOR、ALINCO等厂家已经在宽频接收机中普遍使用DSP技术，只是平民化还尚需时日。

（三）电路混合化

优质的调频信号完全可以充当Hi-Fi声源。未来以音质为卖点的收音机，可能会采用“DSP接收+电子管功放”的混合型电路，既发挥了DSP前级在接收强台时声底纯净的优点，又弥补了DSP解调输出信号数码味较浓的不足，做到优势互补、相得益彰。

（四）功能个性化

如果您是一位数码相机爱好者，您大概发现一个现象：不同机型之间，即便使用同一处理器，它们的功能也不尽相同。原来这是厂家为了拉开产品之间的差异，故意对不同的机型屏蔽了不同的功能。未来DSP收音机，主芯片应该大同小异，最大的不同在于MCU上——厂家会针对不同的消费群，给MCU写入不同的功能，从而达到量身定做、细化市场的目的。我们从TECSUN PL-310和PL-380身上就看到了这个趋势：PL-380作为PL-310的改进版，增加了ETM（Easy Tuning Mode）收台功能，使得搜存电台变得迅速快捷（图9）。而ETM功能的实现靠的是程序设计而并非外围元件。

DSP收音机技术实际上是软件无线电原理的典型运用，DSP收音机是未来市场的主流。让我们一起感受新科技给产品注入的活力，让我们一起享受新机型给人们带来的惊喜！

长波波段数字信号接收初探

◎江天舒　胡铁君

长波的通信频率范围为100～519kHz，其波长为3000～578m。长波信号可以通过地波和天波两种方式进行传播，地波的传输距离最大为2000~3000km。天波在白天是由D层反射，在夜间是主要依靠E层反射，传输距离最大可达上万千米。在200~300km地波的传播方式占优势，在2000~3000km天波的传播方式占优势。在两者之间，天波和地波同时存在。由于长波频率低，夏季易受雷电和天电的干扰，所以比较适合长波接收的季节和时间是冬季的夜晚。在冬季的夜晚，我国大部分地区都能用普通长波收音机收到一两个比较微弱的俄罗斯广播电台信号。

我国没有采用长波波段作为民用广播，但在欧洲目前还有很多国家还提供民用长波广播娱乐节目。长波以其特有的传播特性被广泛用于一些非民用领域的广播服务，比如：航空、航海、授时，甚至军事领域中的基地与潜艇的通信等。这些非民用的广播信号大部分采用数字编码，接收这些信号要采用电脑解码。

业余无线电爱好者可以利用一台好的收音机或者接收机，利用声卡和电脑，在专业软件的支持下，就能收到很多有意思的长波信号。接收和研究这些信号会有助于掌握无线电传播的规律，让你有意外的成功喜悦。下面介绍的是采用业余的方法接收一些常见的长波信号。

航空无指向性的无线电信标

普通的长波收音机，在长波波段会收到一些慢速的反复播放的“滴滴、答答”的电报信号。通常这些信号每天都有，电码听上去也就两三个字母，这就是无指向性无线电信标（Non-Directional Beacon）信号，简称NDB。NDB也叫归航台，是供飞机在飞行途中定位的参考坐标，利用圆环测向天线，测得飞机前进方向与两个NDB的夹角，就可计算出飞机距离目标的位置。因NDB信号是引导飞机抵达机场的，故此也被称为“归航台”。NDB信号为190～1750kHz，本文只讨论落在长波波段的那一些信号。

NDB信号是调制报模式，普通的AM收音机就能接收到。但大部分的收听者因为没有受过专业抄报训练，对莫尔斯电码不熟悉，很难明白信号的内容。业余爱好者可利用电脑录音方法，使用类似Cool Edit这样的音频软件，可以看图

表1　标准的26个字母的莫尔斯电码图

字符	电码符号	字符	电码符号
A	•—	N	—•
B	—•••	O	———
C	—•—•	P	•——•
D	—••	Q	——•—
E	•	R	•—•
F	••—•	S	•••
G	——•	T	—
H	••••	U	••—
I	••	V	•••—
J	•———	W	•——
K	—•—	X	—••—
L	•—••	Y	—•——
M	——	Z	——••

图1　某NDB电台的信号

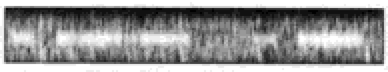


图2　某微弱的NDB信号

表2　笔者在上海地区收听到的NDB信号列表

编号	日期	北京时间	FREQ(kHz)	ID
1	2010/7/26	14:30	208	PK
2	2010/7/26	14:35	217	ZJ
3	2010/7/26	14:39	227	BK
4	2010/7/26	15:00	290	JS
5	2010/7/26	14:41	305	MF
6	2010/7/26	14:45	324	CJ
7	2010/7/26	14:52	340	OF
8	2010/7/26	14:27	364	LA
9	2010/7/26	14:28	364	CZ
10	2010/7/26	14:55	381	LM
11	2010/7/26	14:53	391	SX
12	2010/7/26	14:17	400	XX
13	2010/7/26	14:24	425	W
14	2010/7/26	14:11	456	Q
15	2010/7/26	14:38	507	DD
16	2010/2/3	21:07	303	WA

表3　我国已知的RBN/DGPS列表

编号	频率（kHz）	序列号	港口名称	ITU国家缩写	国家	ID	备用ID	纬度	经度	波特率
07	287.0	#623	Fangchen Gang	CHN	China	(646	(647	21.35'00N	108.19'00E	200
08	287.5	#603	Qinhuangdao	CHN	China	(606	(607	39.54'00N	119.36'00E	200
11	289.0	#851	KauYiChau（Hong Kong）	CHN	China	(852	(853	22.17'04N	114.04'58E	200
15	291.0	#610	Yanweigang	CHN	China	(620	(621	34.28'80N	119.46'80E	200
15	291.0	#621	Sanzao	CHN	China	(642	(643	22.00'00N	113.24'00E	200
23	295.0	#614	Shitang	CHN	China	(628	(629	28.16'00N	121.37'00E	200
23	295.0	#627	Sanya	CHN	China	(654	(655	18.17'00N	109.22'00E	200
35	301.0	#622	Naozhoudao	CHN	China	(644	(645	20.54'00N	110.36'00E	200
36	301.5	#601	Dasansgan Dao Lt	CHN	China	(602	(603	38.51'83N	121.49'50E	200
41	304.0	#611	Haozhi Gang	CHN	China	(622	(623	32.01'00N	121.43'00E	200
48	307.5	#612	Dajishan Lt	CHN	China	(624	(625	30.48'60N	122.10'35E	200
48	307.5	#602	Laotieshan Xijiao	CHN	China	(604	(605	38.44'00N	121.08'00E	200
53	310.0	#613	Dinghai	CHN	China	(626	(627	30.01'00N	122.04'00E	200
54	310.5	#626	Bachu Jiao Lt	CHN	China	(652	(653	20.00'16N	110.55'97E	200
54	310.5	#604	Beitang	CHN	China	(608	(609	39.06'42N	117.43'12E	200
59	313.0	#615	Tianda Shan	CHN	China	(630	(631	25.28'00N	119.42'00E	200
59	313.0	#628	Yangpu Gang	CHN	China	(656	(657	19.43'00N	109.12'00E	200
60	313.5	#607	Wangjiamai do	CHN	China	(614	(615	36.04'38N	120.26'43E	200
	317.0	#606	Chengshan Jiao	CHN	China	(612	(613	37.24'00N	122.41'00E	200
	317.0	#620	Luyu	CHN	China	(640	(641	23.20'00N	116.45'00E	200
	320.0	#616	Zhenai Jiao	CHN	China	(632	(633	24.16'10N	118.07'90E	200

辨别电码。其方法很简单：将收音机里面的信号从耳机插座输出，输入到电脑的声卡中，录制后将信号转换成waterfall格式。图1所示的是笔者在上海收到的一个NDB信号Waterfall图。对照表1的标准电码可以辨认出图1所示的图形是“S、X”这两个字母。当然，如果对莫尔斯电码熟悉，靠耳朵直接听辨电码就更方便了。 图2所示的是笔者收到的另外一个比较弱的信号，耳朵辨别信号会比较困难，看着Waterfall图辨别电码就变得容易了。对照表1的标准电码可辨别图2中的两个字母是“W、A”。

RBN/DGPS信号

长波频率中有一段是被国际上用于近海航运沿海无线电指向标/差分全球定位系统(RBN/DGPS)。这里是两个信号：一个是RBN，另一个是DGPS。两个信号是指向同一个电台，RBN的发射功率比DGPS要弱50%以上，一般采用接收DGPS信号来识别整个RBN/DGPS。信号频率覆盖范围一般是在283.5～325.0kHz，每隔0.5kHz一个电台。这些电台在全球各主要港口设立，各国通过频率使用规划，实现频率复用，同一个频率可以在相隔一定距离的电台使用，而不会引起干扰。表3所示的是我国各大港口的RBN/DGPS频率列表，内容有编号、频率（kHz）、序列号、港口名称、ITU国家缩写、国家、ID、备用ID、经纬度和波特率。

DGPS是差分GPS（DGPS），是正常的GPS外附加（差分）改正信号，用来改善了GPS的精度。差分定位（Differential Positioning），也叫相对定位，根据两台以上接收机的观测数据来确定观测点之间的相对位置的方法.目前还有许多远洋行船使用这种定位方法。各国海岸大概每300km就有一个基站，在我国沿海，北至秦皇岛，南至三亚，已经建立了大约21个基站，覆盖的范围可从鸭绿江至西沙群岛。所以，一般沿海城市都能收到这些基站发出的信号，我国的广东深圳地区和海南岛所能收到的国内RBN/DGPS基站信号最多。根据这些信号的ID，查阅资料可获得知其基站发射点的经纬度，将其标注在电子地图上，可以直观地看出发射台离开自己的距离。

普通爱好者没有专用的接收设备，可以选用一台长波接收性能好的接收机，并借助于电脑声卡与专用软件进行接收。RBN/DGPS一般都是采用SSB方式发射，要求接收机带有BFO功能。业余爱好者可以使用MultiPSK软件识别信号，如图3所示。如果有条件，可采用SkySwePro软件的接收界面如图4所示。软件支持将长达数百小时的接收录音，直接快

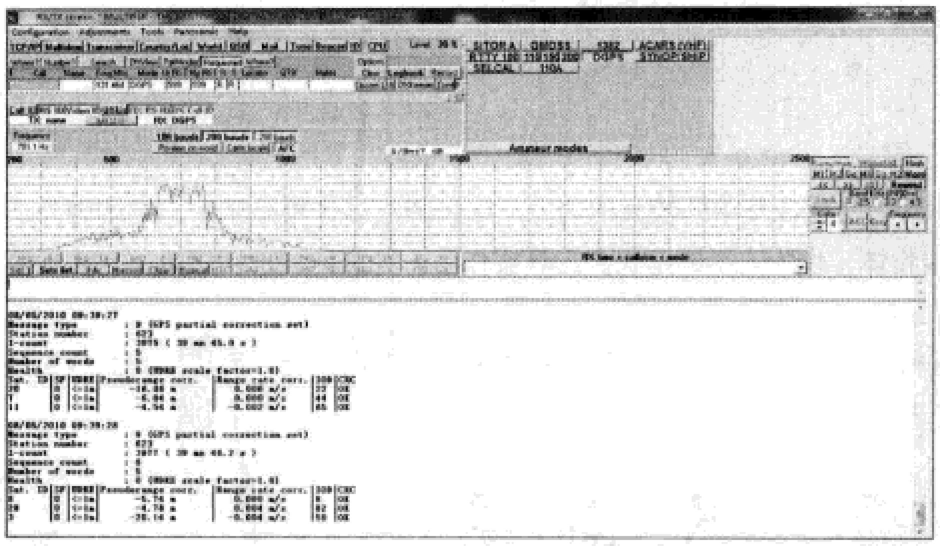


图3 MultiPSK软件接收DGPS界面

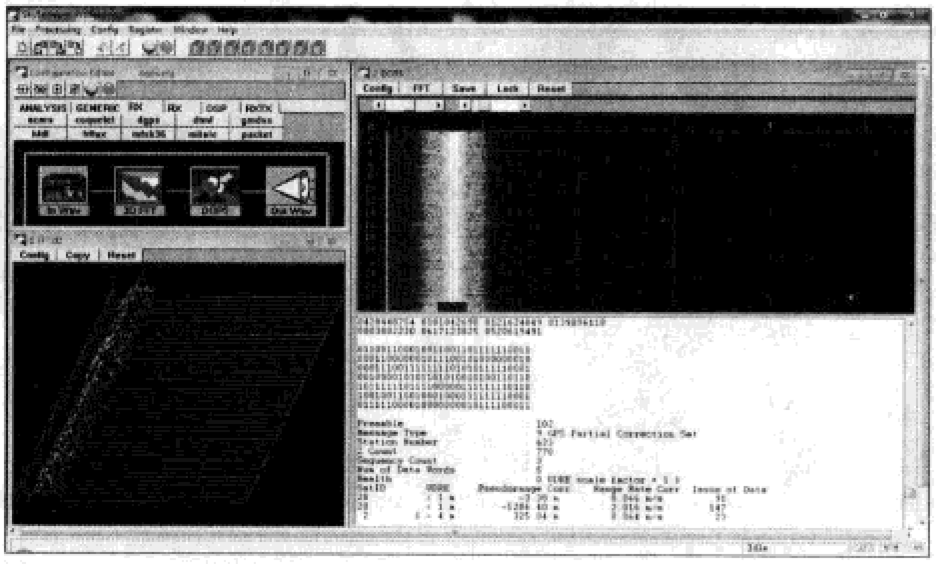


图4 SkySwePro软件接收界面

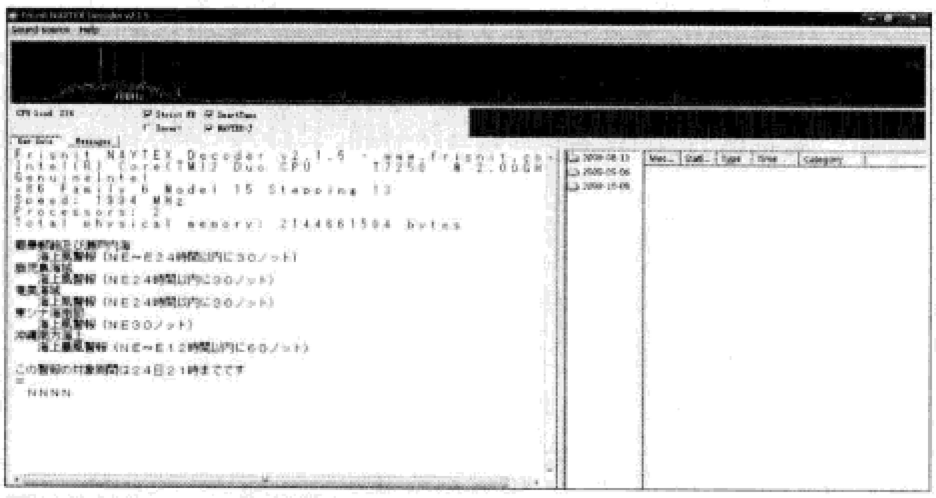


图5 NAVTEX Decoder软件界面

图6 NAVTEXview的界面

速导入后进行识别，这是非常方便的一种方法。收听者需要长时间进行录音，并将音频文件做适当的处理，提高信号质量，以便于软件识别。SkySwePro也支持将接收到的实时信号边解码边录音保存的方式。

NAVTEX信号接收

NAVTEX（中文称为奈伏泰斯）是100波特率的BFSK信号，频偏170Hz，听起来有点像小鸟叫。从字面看就是Navy与Text的合成词。该信号系统是一种窄带直接印字电报方式发送和自动接收海上发布的气象航行警告信息的系统，为了保证船舶航行安全发挥着极其重要的作用，也是全球海上遇险与安全系统(GMDSS)中重要的组成部分。该信号主要由各国海岸电台定时定频发布。我国主要是由大连、上海、福州、广州和三亚负责播发。全球NAVTEX信息发布频率一般在490kHz、518kHz和短波4205.9kHz。

接收该信号，也是需要带有BFO的接收机，并推荐使用Frisnit NAVTEX Decoder这个软件。该软件是一个免费软件，并且支持日文的NAVTEX。软件界面如图5所示。

为了更好地接收NAVTEX信息，还有一个软件非常有用，这就是NAVTEXview。通过该软件，可以了解当前所有NAVTEX频率上全部发播信息的电台列表。图6所示的就是该软件的参考界面。

长波DX收听最佳的时间一般是在冬天寒冷的深夜。因为那个时段地面温度低，本地大气的干扰信号小，而深夜，大部分工业和家用电子设备都停止运作了，干扰小，比较容易接收。相对专业长波电台，民用娱乐广播节目都是小功率电台，一般都在数百瓦以内。对这些长波信号的收听，除了需要好的天线、一部优秀的接收机和优良的收听环境以外，更多的是需要长时间的收听积累，每时每刻的传播条件都有变化，只要坚持收听，就一定会有收获。

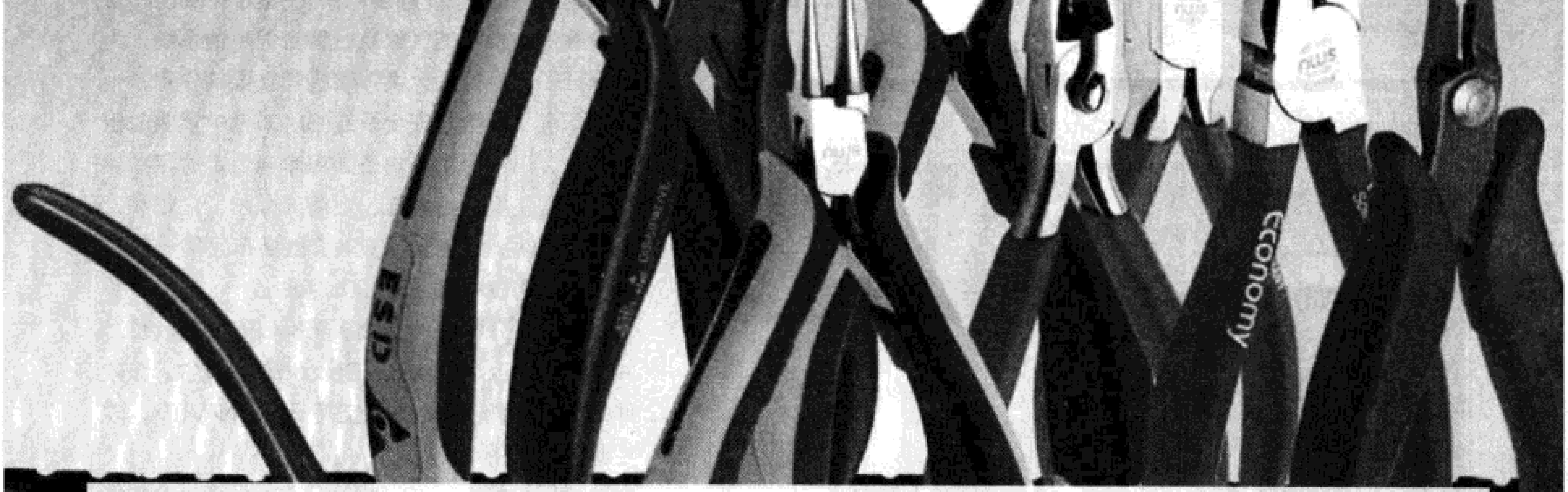
长波是位于频率底端的，容易被人忽视，但长波是迷人的，除了本文提及的 4 种信号以外，还有一些业余爱好者架设的用于研究长波传播的小型信标台，还有用于国际授时的授时信号。当然，还有一部分信号是加密的军事通信。不断地去搜寻那些信号，扩大接收到的信号范围，甚至收到信标台的收听确认卡，是一件很有价值的事情。

钳子也发烧

钳子是根据双臂杠杆原理设计的工具，可以将较小的外力转化成集中的较大的功力。钳子的主要作用除了手力的增强外，还可以适应特殊作业环境（如狭小空间），夹持高温/低温物体，作为人手的延长。工具钳作为一种夹持和剪切工具，在工业生产和电子产品制作中被广泛使用，是仅次于螺丝刀的常用工具。

市面上大大小小、形形色色的钳子很多，价格也相差很大，在工具市场中，廉价的钳子售价不到10元，而进口的高端钳子则高达三五百元。本文中，笔者带你了解一下"高端"钳子的与众不同。

◎聆听



形形色色的钳子

手动钳子的种类很多，不同类型的钳子有不同的功能和用途。市面上的钳子种类超过100种，一般最常用到的钳子有钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳，电子爱好者会常用到电子钳和剥线钳。在一些专业场合中，常会用到卡簧钳、剥线钳、压线钳、大力钳、螺母切割器等专业的钳子。本文主要介绍的是电子爱好者常用的钳子。

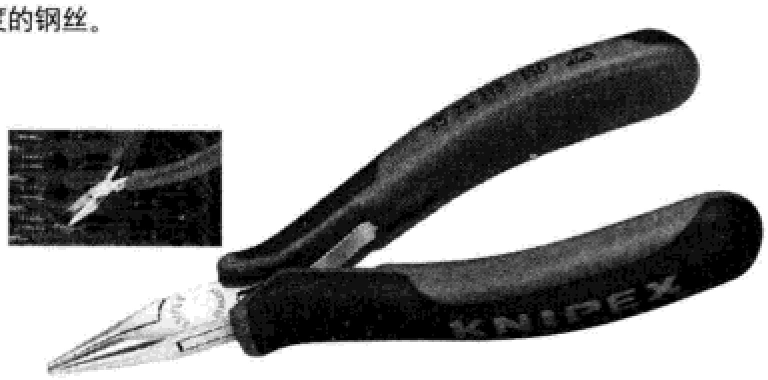
钳子的规格

同类型的钳子有大小之分，厂家用英寸或毫米作单位来表示（具体标准由各厂家自己制定），通常所说钳子的尺寸是指钳子从钳头到手柄的全长。如果要精确地了解一把钳子的尺寸，可以参考厂家的官方尺寸说明，一般精确的尺寸标注除了钳子的全长，还包括钳头的细节尺寸标注。在刀口具备剪切功能的钳子产品说明中，有产品设计最大断线能力和适宜剪切金属线种类的介绍，依据不同硬度的金属线给出了该型号钳子的最大断线直径，实际使用中，如果超过了断线设计能力很可能会损坏钳子的刃口。

钳子是根据双臂杠杆原理工作的，所以尺寸大的钳子相对作用力也越大，一般家用主流钢丝钳、尖嘴钳多选择160～200mm的规格（也是常见的6~8英寸规格）。5英寸以下的尖嘴钳较多应用在电子制作中对元器件的夹持上。小号的钳子虽然在力量上不及大钳子，但在精密场合和狭小空间使用上，有一定的灵活优势。

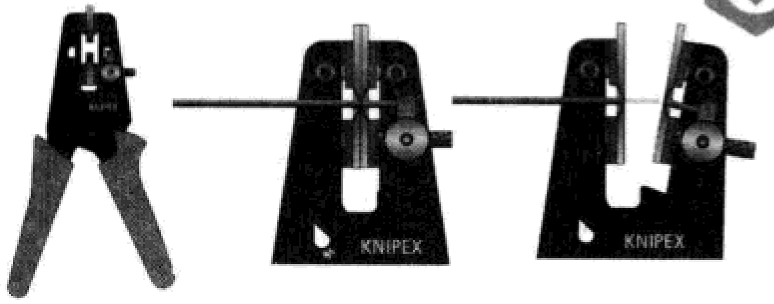
通过改进钳子结合部的铆钉支点，可以优化杠杆率，提升有效作用力，对使用者来说更为省力（通常可以省力30%以上），在一些断线和剪切应用中效果非常明显，对工具的使用者帮助很大。如此一来，经过结构改良设计的钳子被一些制造厂商称为"强力"系列或者"省力"系列。

钢丝钳通常是平头的，与尖嘴钳一样，是通用性最强的一类钳子。夹持是钢丝钳的主要功能，可以用来固定物体，也可以将物体弯曲成需要的形状以及夹住旋动螺母。通常，钢丝钳还具备剪切口，可以用来剪切金属丝。常见的通用钢丝钳的钳头分为3个部分：最前端的扁口部分用于夹持扁平物体，如夹住铁板之类，钳口带有横条或网状齿纹，以增加摩擦系数，增强夹持稳定性，防止打滑；中部的弓形齿口部分用于夹持圆形材料，如铁管螺母之类，后部的刃口为刀口和铡口，刀口用于剪切中低硬度的电线铁丝，铡口用于切断中高硬度的钢丝。

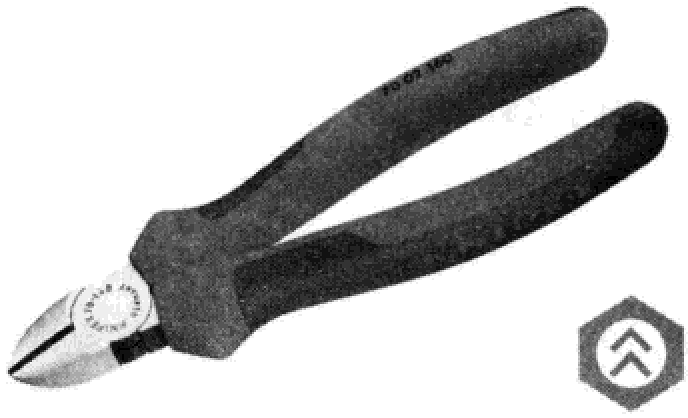


电子钳是专门为电子制造维修业电子线路板应用所设计的工具，基本上可以理解为常用工具的缩小版本，包括斜口钳、尖嘴钳、剥线钳等。为了更好适应在电子线路板的应用，电子钳在形状和功能上也做了一些改进，使钳子更为灵巧，如有的尖嘴钳提供45°弯嘴，有的钳子手柄采用抗静电材料。

剥线钳是一种用来去除电线外部绝缘套管的专用工具，与传统采用的电工刀剥电线皮相比，具有效率高、操作简单、不易伤到电线内导体的优点，适用于工业中大量剥线头的工作。



压线钳是用来冷压连接端子的专用工具，属于一种压接工具，常见的电话线RJ11和网络线RJ45水晶头的压线钳都属于此类。使用压接方式可以避免使用焊料焊接，工作效率大为提高。压接钳根据不同压接端子的类型和大小有众多型号，为了达到“一钳多用”的目的，有的压接钳将压接口做成模块化，方便替换不同规格的压接口。



斜口钳是专门为剪切线而设计的钳子，不具备夹持功能，刀口硬度也可以做得比较高，优质斜口钳钳口硬度可以达到60HRC以上，甚至部分产品可以用来剪切较细的硬质弹簧钢丝（钢琴丝）。同时，由于钳头前端完全是剪切口，所以剪切起来十分灵活，尤其适用于对一些线头的剪切。用斜口钳来剪切铜电线和尼龙扎带以及电线外包皮，远比普通剪刀强得多。有的斜口钳附加有剥线功能，在剪切刃口留出常用规格电线的槽口，方便剥线皮。

tips

小型卡簧钳的顶端很容易过载，因此建议在取出卡簧钳之前，先松开张紧的卡簧。

卡簧钳是一类特殊功用的钳子，有孔用和轴用（外卡簧钳）两大类，是用于安装或拆取机件内部定位卡簧的专用工具，一般用于专业场合。

尖嘴钳，顾名思义，钳头为细长型，常见为半圆嘴钳头。尖嘴钳钳头前端的面积远比标准钢丝钳小，所以不适合夹持大体积的物体，更不适合用于扳铁板。尖嘴钳钳头小巧灵活，主要适合夹持小型物体，如电子零件和线材之类。利用尖嘴钳钳头来弯曲单芯硬线，形成螺丝固定连接的接头环是非常实际的应用。中小号的尖嘴钳被很多电子爱好者用来夹持焊接的电子元件。部分尖嘴钳钳头后部同钢丝钳一样带有刀口，也可以用于剪切断线之用，不过由于结构设计，尖嘴钳刀口的断线能力往往比不上同尺寸大小的钢丝钳，通常适用于剪切铜线、铅丝之类中低硬度的金属丝。

好钳子是如何打造的

我们以最常见的钢丝钳为例，看看好钳子是如何打造的。

第一，一把好的钳子需要上等钢材。

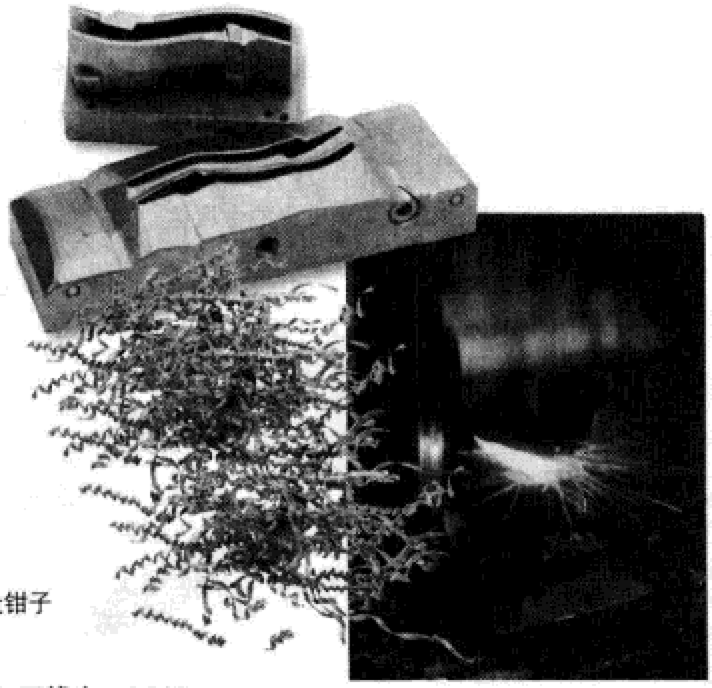
廉价的钳子常用45号碳素工具钢，中档的使用55号碳素钢，高档一点的使用铬钒钢，高级的钳子则使用铬钼钢或C50合金钢等特殊钢材。即便是同类型的钢材，不同产地的产品在品质上也有一些差异，所以一些顶级工具生产厂家宁愿多花钱，也首选德国、瑞典、奥地利等名厂出品的钢材，这也是一些欧洲产工具性能优良的原因之一。不过从实用的角度，不是所有的钳子都必须使用合金钢制造，对于一些以夹持功能为主的普通钳子，用高碳工具钢就能造出高品质的产品。对于一些重型作业的钳子、以剪切功能为主的钳子、对强度有特殊要求的钳子，使用合金钢制造，性能更有保障。

第二，良好的结构设计。

虽然常规钳子的总体结构是成熟的经典设计，但在很多细节方面依然有可以改进、改良的地方。上文中提到的优化省力结构是从结构上进行较大的改进，更多的是钳子刀口角度的改良和手柄形状的改良。利用人体工程学原理设计的手柄握持起来更加安全舒适，手柄的形状适合手形，使作用于手掌的力得到分散，并同时能保持钳子整体最优化的力矩传输。此外，新型结构和附加功能的钳子也不断被创新，一些新型的产品纷纷上市。

第三，锻造工艺和精密机械加工。

目前主流的工具钳都采用锻造工艺制造，原料钢条经过重型机械高温锻造、预弯成型后，经过机械加工和研磨，基本形成了单片钳子的雏形。在机械加工过程中，高端的生产线会用到CNC数控加工设备，确保每把钳子的加工精度。将两片钳子相互插入，并铆接成一线，就成了完整钳子的主体。精密加工和铆接工艺确保了钳子制作的公差控制在最小状态，钳口密闭精确，钳子开闭顺畅、稳定，即使单手操作，也丝毫不感觉晃动、过紧、过松。加工精度的差距造成的现实情况是：一些廉价的钳子要挑上好几把才能选出满意的产品，而高端钳子几乎每把都相当出色。



打造钳子

第四，热处理工艺。

成型的钳子胚胎需要在硬化窑中进行硬化处理，在油中进行淬火处理等。目前业界还流行对钳口进一步进行高频电流感应硬化处理，使钳口获得附加硬度，让钳口具有更佳的切割性能。高品质斜口钳和钢丝钳的刀口硬度可以达到63～65HRC的水平。热处理往往是工具生产的技术关键，也是很多厂家的独门绝技所在，热处理技术掌握不好，再高档的钢材也发挥不出优势。由此可见，对于工具而言，原材料钢材并不完全代表钳子品质。我们也在市场上看到一些号称使用高碳钢或铬钒钢制造的钳子，性能却非常一般。

至此，钳子的主体部分已经基本完成。

第五，表面处理。

对钳子表面进行处理，如喷砂，然后再做电镀等处理。目前中高档产品中用得比较多的方式是进行电解镀镍和电镀铬的处理。镀镍可以大大提升钳子表面抗腐蚀性能，镀铬加上抛光可以使产品具有更佳的外观。有的场合需要钳子表面不反光，可以采用镀黑镍或者发黑的技术处理，或者在镀镍、镀铬的基础上使用特殊涂料将钳子染成黑色。

第六，手柄处理。

这主要指钳柄外的包裹物设计。手柄处的包裹物的外形、软硬程度、材料搭配都与使用者握持舒适度大有关系。中高档钳子手柄大多采用TPR（热塑性橡胶）材质，而廉价货则多采用比较硬的PVC材质。使用加厚手柄外包裹物（一般我们看到钳子手柄为两种颜色搭配）的软硬搭配的双材质手柄可以提供最佳的摩擦力分布和缓冲。此外，对于一些需要耐高压的产品手柄则需要经过特殊的绝缘处理，一般耐高压的手柄耐压可达1000V，可用于对应电压级别的带电操作。

钳子发烧

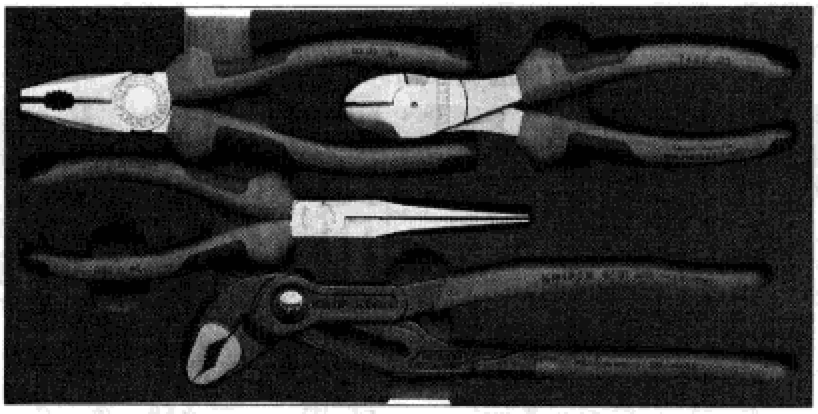
对于工具发烧友，拥有几把世界名牌的钳子是很多人的梦想。在品牌方面，德国KNIPEX（德国产）、NWS、GEDORE以及美国的Channellock在业内都属于顶级品牌。

美国Sanp-ON和FACOM（目前为史丹利旗下高端品牌）由于在工具界具有全系列高端工具的名气，其钳子也可以算得上高端产品。在日产钳子方面，MTC 、KEIBA（马牌）、FUJIYA、engineer（工程师）、HOZAN、SHELL等都是在我国工具市场上比较容易买到的品牌，品质优秀，与顶级产品相比，价格要实惠很多，为很多工程单位所青睐。国产钳子中，世达（Sata）、史丹利（Stanley）和Pro'skit（宝工）也有很多品质不错的产品，而且产品系列齐全，价格适中。要看一个品牌是否专注制造钳子，我们只要看一下它的产品系列就能略知一二。做钳子的厂家往往钳子系列比较全，包括一些不常见的专业偏门产品，而靠OEM来获得自己品牌的钳子往往只有热门销量大的型号，产品种类比较少。同其他工具一样，很多洋品牌的钳子也渐渐都变成MADE IN CHINA。

工具市场上“一分价钱一分货”依然是通行的准则。与螺丝刀一样，钳子作为手动工具，制造厂家也是“术业有专攻”，精于造螺丝刀的品牌并不一定擅长制作顶级的钳子，反之也如此，很多品牌还是通过OEM/ODM的方式来丰富自己的产品线。

在钳子制造方面，德国KNIPEX（凯尼派克）是最受工具发烧友追捧的品牌，因为KNIPEX是拥有百年历史的专业钳子制造企业，在工具界声名显赫，可谓“老字号”。德国顶级品牌、德国原产地的正宗“血统”符合很多工具发烧友的口味。虽然市场上一把普通的KNIPEX钳子价格在三五百元的水平，但不少工具发烧友依然不惜重金购买。GEDORE也是德国品牌，属于工具集团，公司生产各类工具，GEDORE以其扳手最为有名，其钳子产品也可算是国际顶级品牌，性能优秀。GEDORE的钳子大部分在奥地利生产，钳子上都有AUSTRIA的激光刻字，明确标明产地。

对于工具发烧友，钢丝钳、尖嘴钳、斜口钳是三把必备的钳子，也是最基础的三把钳子。一把优秀的钳子可能在使



KNIPEX的钳子

用其夹持功能的时候还不容易感觉出与中档产品的差异，但若使用其剪切断线功能，优劣立显。对于讲究实用的用户，主要用作夹持的钢丝钳和尖嘴钳，可以选择普通一点的产品，但斜口钳一定要选好的产品，不然剪不了多少线刀口就出问题了，尤其是需要经常剪硬质金属丝的用户，刀口变钝意味着使用者需要施加更大的力量才能完成剪切操作。

实际使用中，并非只有进口顶级产品性能才必然优良。很多看似不很贵的国产名牌和国产洋品牌产品也有很不错的性能，具有非常高的实用性和性价比，是实实在在的普及型实用工具。工具发烧和工具使用是两个不同的领域，也有不同的要求，发烧友往往不计成本，也并不一定看重实用性，而实际使用者则看重产品实用性能与价格的平衡。

工具发烧友有性能发烧友和品牌发烧友之分，都属于个人偏好。性能发烧友喜欢拥有各种顶级工具，注重产品的性能、材质、产地、档次，并不偏好专一品牌，在不同类型工具中选择专业的品牌，比如WERA和Wiha的螺丝刀、KNIPEX的钳子、BAHCO和GEDORE的扳手、博世和麦太保的电动工具。

品牌发烧友比较注重品牌，一个顶级品牌常常提供几乎全线的各类工具，如美国 SNAPON 的全套工具，看到清一色的顶级工具，发烧友心中自然舒畅无比，玩的就是一种感觉。

钳子百科

tips1

保养钳子

定期在抛光表面和接合部位滴上保护机油，能使钳子保持良好的工作状态，从而延长钳子的使用寿命。

tips2

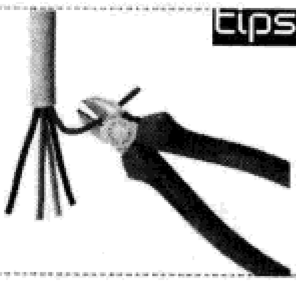
洛氏硬度

HRC是指采用Rockwell法测量的硬度。洛氏锥体硬度的测量方法是：将一块金刚石锥体压入被测物体表面，然后，用Rockwell检测设备测量穿透深度，并直接给出 HRC值。材料越硬，穿透深度越小，HRC值越大，HRC值的范围通常为20～67。

tips3

剪切钳技巧

将待剪切线材尽可能靠近轴部。这会增加杠杆力矩，减少剪切时施加的手力。

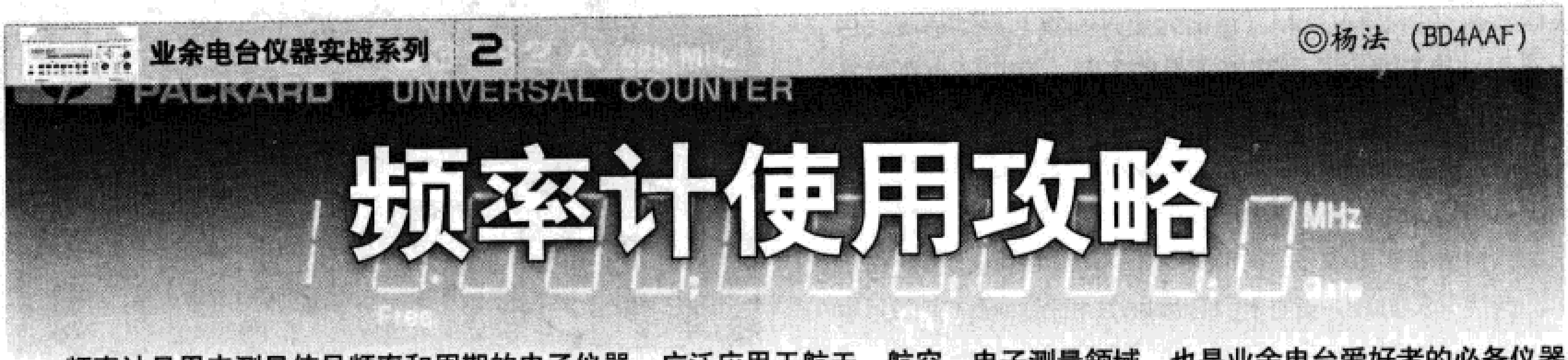


tips4

高品质钳子的设计理念

人体工程学设计的钳子远远超过基本“手柄设计”的钳子，在使用上要求达到：最小的外力，确保手掌和手指握持的最佳位置降低疲劳度，保持手掌和手柄的良好接触。

业余电台仪器实战系列 2



频率计使用攻略

◎杨法（BD4AAF）

频率计是用来测量信号频率和周期的电子仪器，广泛应用于航天、航空、电子测量领域，也是业余电台爱好者的必备仪器之一。随着技术的不断发展，频率计的原理和结构也不断改进，数字频率计已成为目前应用的主流，它具有读数直观、操作简单的优点。由于频率和周期是相互倒数的关系，所以只要软件支持，频率计就可以既显示频率也显示周期。习惯上，大家对于较高的频率偏好使用“MHz、kHz、Hz”等频率单位，对于很低的频率偏好使用“s（秒）、ms（毫秒）”等周期单位。

频率计的实用意义

频率计可以用来测量无线电电波载波频率和振荡器的振荡频率，为调校和监视带来方便。借助频率计，我们可以测量常见的晶体振荡器的工作频率并可以加以校正，使实际误差最小。晶体振荡器广泛应用于各种无线电电路、时间频标电路、单片机电路。在无线电收发信机中，应用最多的频率合成器的基础参考频率就是通过晶体振荡器获得的，通过修正晶体振荡器的频率就能校准无线电收发信机的工作频率。以对讲机和短波电台为例，目前主流的电台对讲机都通过频率合成器获得载波频率，对于常用的25kHz间隔、16KOF3E调制的FM调频对讲机信号，如果接收机和发射机频率的相对误差超过2000Hz，就会造成对讲机通信品质和通信距离的明显下降。而对于在短波通信中常用的J3E调制的SSB语音信号，如果接收机与发射机频率的相对误差超过200Hz，语音就会出现明显的变调。对讲机和电台由于元器件老化和振动很容易引起频率偏差，所以对讲机和电台的载频误差需要定期检测、及时校正，这也是国家无线电管理局对发射设备检测的必查指标之一。

利用频率计检查电路中时钟晶体是否正常工作，可以很容易地发现停振和频率严重偏差的异常情况。在实际维修应用中，即使是非无线电收发信线路，也需要用频率计确认一些测试点的振荡频率状况。

频率计通过一个振荡电路能检测石英晶体的品质（稳定性）和性能（谐振频率），有的多功能频率计将振荡电路集成在仪器内部，用户只需要插上石英晶体就能知道晶体的谐振频率。对于有能力打磨石英晶体、修改晶体谐振频率的朋友，通过频率计可以监测石英晶体打磨后实际谐振频率的变化。

频率计可以监视信号源的输出频率。对于爱好者来说，目前科研单位主流的数字化数显频率合成信号发生器价格过于昂贵，通常预算不多的爱好者都会考虑选用老式的LC振荡器的简易信号源，但这类信号源没有数字频率直接显示功能，刻度也不是十分精确，实际使用中误差比较大。如果这类信号源配合频率计使用，就可以将频率计作为信号源实际输出频率的显示器，那比信号源度盘指示机构要准确得多。

有些仪器附带有频率计功能，如示波器、频谱仪，甚至一些多功能的万用表也具备频率计功能，但从综合性能上看，都不能完全取代专业频率计。示波器是显示信号波形的仪器，部分数字示波器具有频率计的功能，但测量精度和速度往往不能与专业频率计媲美。而且，在价格上同档次的示波器要比频率计贵不少，所以用示波器替代频率计并不可行。频谱仪不但可以显示信号频率信息，还可以显示信号幅度信息，但通常频谱仪的频率显示精度不高，并不适合精确的单纯频率的计数测量，而且频谱仪的价格要比频率计贵得多。一些万用表的频率测量功能基本属于初级水平，显示的位数本身就不够多，测量频率也不够高，实用意义有限。

频率计的基本原理

数字频率计通过计数器在单位采样时间内对经过预处理的脉冲信号进行计数，然后折算成频率数据，这是频率计的基本原理，所以频率计也被称为频率计数器。实际上，频率计对于频率很低的信号采用测量周期的方法，对于数百兆、上千兆的频率较高的信号一般采用先分频再测量的方法。分频电路将较高频率的信号等比转换成较低频率的脉冲，再送到频率计的计数器电路中进行计数，最后将得到的频率数据乘以原先的分频比，即得到实际测量的频率。很多中高档频率计都有1～3GHz选件，以扩展频率计的测量范围，实际在硬件电路上主

要就是增加一个分频器。

频率计的稳定度和准确性是标志频率计性能的两大重要指标。频率计的稳定度和准确性主要取决于自身的基准参考频率，该频率同样是由晶体振荡器产生的。大家都知道普通晶体振荡器中的石英晶体谐振频率会根据温度的变化发生微小的变化，不同品质的石英晶体的这种变化幅度是不同的，但不能完全避免。晶体这种微小的变化在很多消费类电子产品的电子线路中可以忽略不计，但作为高精度的频率计基准参考源则不可忽略。

为了提高频率计基准参考源的稳定度，一方面应采用稳定性好的高品质石英晶体，另一方面在晶体环境温度上下功夫。TCXO 温度补偿特性晶体通过附加温度补偿电路，削减环境温度变化对石英晶体振荡器振荡频率产生变化的影响，一般稳定度大约可以做到几 $\times 10^{-6}$ 到零点几 $\times 10^{-6}$。一般中档的频率计都会至少考虑使用 TCXO 晶体振荡器作为基准。更高档的 OCXO 恒温控制式晶体振荡器通过附加恒温槽，使晶体振荡器或石英晶体周围的温度保持相对恒定，这样可以将环境温度变化对石英晶体振荡器振荡频率产生变化的影响降到最低，一般稳定度可以做到 $0.01\times 10^{-6}\sim 0.5\times 10^{-6}$。此外，有的高端频率计还采用铯钟和铷钟，提供更优秀的稳定度，这些频率计多是顶级频率计。不同档次的 TCXO 振荡器性能不同，价格也相差很多，所以并不是说采用 TCXO 的频率计都一定上档次。一块普通石英晶体价格可以不到 1 元，一个 TCXO 振荡器少则十几元，好一点的都要几十元、上百元，因此在一些廉价频率计里，制造者另辟蹊径，在普通的石英晶体外围使用 PTC 等发热材料构成原始的温度补偿恒定装置，以较低的成本提高晶体的稳定性，这也被一些厂家称为“采用恒温装置”，虽然此举原理相同，但很难与专业高性能 TCXO/OCXO 媲美。

Agilent 53181A

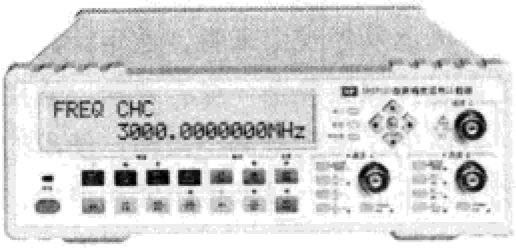
频率计除了高稳定性外，自身的准确性也很重要。自己都不准确的频率计去测量其他设备根本没有意义。频率计准不准是以国家基准参考频率为准则来判断的，频率计的校准需要到当地的计量院，那里有国家标准的频率基准。这就是标准仪器需要定期计量的原因。个人用户可以对比信得过的频率计或者信号源来校准自己的频率计。

频率计的性能除了稳定性，还体现在分辨率和测量速度上。频率计的分辨率一般以频率计测量时显示位数表示，位数越高，分辨率越高。常见的频率计初级产品在8位以下，中档产品在9～10位，科研级高端产品可以达到12位。有的频率计可以通过算法提升显示位数，但这将影响测量速度。

市场上出售的有一类“等精度频率计”，所谓“等精度”是指测量原理。等精度测量的优点是可以解决待测信号的脉冲周期不完整的问题，使得测量误差主要与频率计自身基准参考频率相关，达到精度恒定的效果。等精度频率计在测量机制上优于传统单位时间计数法的频率计。

频率计的发展与现状

早期的数字频率计采用大量小规模门电路构成，所以体积大，重量重，成本也高。随着科技的发展，一些频率计专用大规模集成电路不断被开发出来，同时单片机技术突飞猛进，现在用廉价单片机为核心制作入



盛普SP53131高精度通用计数器

门级频率计已经非常普遍。一台频率计的成本甚至可以低于80元，价格之低，是不是有点不可思议呢？由于大规模集成电路或单片机的应用，现代入门级频率计内部所用元器件非常少，做成小型化频率计，甚至手持式频率计，也完全没有技术障碍。

随着超高速分频IC的不断推出，频率计对1000MHz、2000MHz之类的较高频率的测量变得简单且低成本。目前入门级的廉价频率计测量到1.3GHz、2.7GHz的比比皆是，而过去普通频率计最高都只能测量到100～250MHz的水平。

高端的数字频率计目前以高速、高分辨率、高频率为发展方向，目前的微波数字频率计可以直接测量 46GHz 的信号，高端的频率计提供 12 位分辨率和 50ps 的速度。频率计的测量速度和分辨率与频率计的结构和运算处理单元有关。虽然低端的频率计电子爱好者就能 DIY，但高端的频率计，尤其是微波频率计，依然仅为少数国家和企业所掌握。高端品牌常见的有 HP/Agilent（安捷伦）、Pendulum、RACAL-DANA、Fluke（福禄克）/Philip（飞利浦）、Anritsu（安立）。

频率计数器 VS 通用计数器

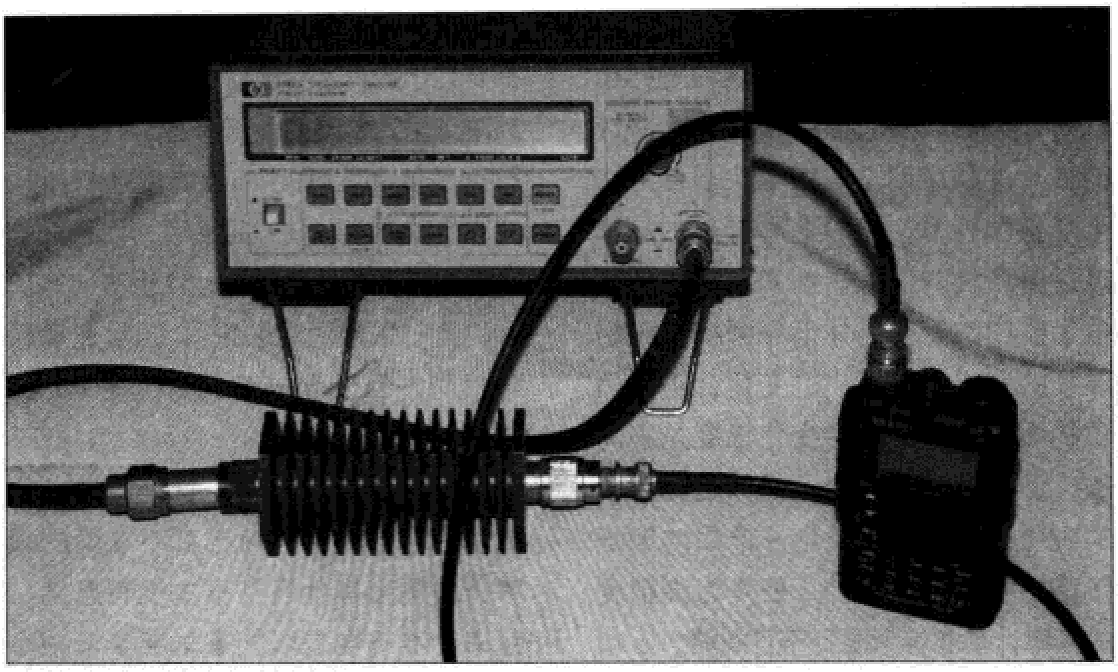
市场上的频率计有两种英文标称：Frequency counter（频率计数器）和 Universal counter （通用计数器）。频率计数器的功能比较简单，主要就是频率和周期的测量。通用计数器的功能则较多，除了测量频率、周期，还可以测量时间间隔、脉冲宽度、相位、频率比、占空因素和势能积累

等，因此从外观上来看，通用计数器的面板按键要复杂一些。通常，通用计数器的工作频率都不太高，使用的侧重点不同。一般家电维修和电台、移动电话维修都是以测量频率为主，所以选用普通频率计就可以了。通用计数器大多用于科研场合和实验室，通用计数器价格会比同档次的频率计数器贵。

手持频率计与台式频率计

不少手持频率计的外形做成了对讲机和移动电话的样子，体积小巧，适合随身携带。手持频率计一般都支持使用碱性电池或者内置充电电池，无需依赖市电，方便现场检测。手持频率计还有侦测周边电台使用发射频率的作用。有的手持频率计将检测灵敏度做得很高，还提供信号强度显示，可以用来近距离探测有无线电发射行为的窃听器。不过手持频率计主要设计用于临时、移动快速的场合，加上这类产品注重省电设计，所以一般低价位产品的精度都不会很高，频率稳定性也不及同级别的台式频率计。手持频率计比较高端的代表有TTI PFM3000，中档的有ACECO FC系列，国产的IBQ2006系列和GOOIT GY560价格便宜，实用性很强，适合业余电台

TTI高端手持频率计PFM3000



对讲机通过衰减器与频率计连接

爱好者使用。

台式频率计由于占据电力供应和体积宽大的优势，所以可以使用较大字体且更容易看清的LED数码管或者VFD荧光屏显示，不用过分考虑温度补偿晶体或加温装置的耗电问题。高端产品还不必考虑处理器的功耗，可以附加一些实用的功能和电路。

手持频率计与台式频率计设计应用倾向不同，性能特点不同，各有所长。一般对于电子维修和产品开发，选择台式频率计会更实用一些。

频率计的使用

第一步，选择正确的端口。

一般的频率计有二三个信号输入端口，每个端口周围都标明对应输入信号的频率范围，同时需要注意输入端口上标明的最大输入信号限制，输入过大的信号将损坏频率计!

第二步，操作频率计面板，选择对应的频率测试通道,并设定时间闸门。

通常，入门级频率计的闸门时间设置越短，显示分辨率越低（显示位数少）、刷新速度快。闸门时间设置越长，显示分辨率越高（显示位数多），刷新速度慢。实际设定的原则是，在满足显示分辨率的前提下，尽量选快一些的时间闸门。

第三步，正确连接测试电缆。

对于测量电器线路板上测试点的频率，除了使用直通的探针，还可以使用1：10的示波器探头。在输出信号满足测量的前提下，尽量使用示波器探头1：10挡，这样对工作中的电路影响比较小。对于测量一些频率很低的信号，建议打开有些频率计上提供的低通滤波器功能，防止外界高频信号对测量的干扰。

一般对讲机和短波电台不能直接通过直通电缆与频率计连接，因为对讲机和电台输出的信号太大，将损坏频率计。正规的连接方式应该是对讲机、电台通过适当衰减量的衰减器将信号减小后再提供给频率计测量。对于手头没有衰减器的用户，如果要测试30MHz以上的对讲机发射信号，也可以采用空中感应的方式代替电缆连接。将手持对讲机或车载台接上天线，功率调至较小，在频率计对应输入口安装上天线（天线频段并不重要）或者插入一段金属导体，凭借感应能量来测量对讲机的发射频率。这样做实际上也相当于在发射源与频率计之间加了一个衰减器。

虽然这种方式理论上不符合操作

规范，测量时容易受到外界干扰，但实践证明，此法因陋就简，在要求不严格的简易测试中还是可行的，也广为HAM所采用。

第四步，注意测量方法和时机。

使用频率计测量频率应该在频率计和被测设备都处于比较稳定的状态后才能进行。有些急性子的用户，频率计刚开机或者对讲机刚开机，就开始测量，此时频率计和对讲机都未进入稳定状态，测试结果不能反映真实的情况。频率计和被测电器都需要经过充分的预热后才能进行测量。一般频率计和被测电器开机最好半小时以上再进行测量（或按照产品说明书中的规定）。

利用频率计校准电台或对讲机的频率误差并不麻烦，一般在无线电收发信机的电路设计中都有基准频率微调校准电路，只要按照维修说明书中的指引就能轻松修正电台的频率。通常，老式的电台如TH-G71A、KG-105之类，在频率参考晶体附近会有一个用于微调频率的微型可变电容（极少数采用可调电感），通过旋转可调电容（旋转的角度通常是非常小的），配合频率计的读数反馈，就能方便地校准电台的频率。比较新式一点的业余电台、对讲机（如FT-7800R/8800R/2R/7R之类）采用软件方式对频率进行调整，通过特殊的组合操作进入机器的工程调整菜单，就能以软件调节的方式修正频率，也有一些专业机（如GP338 、MOTOTRBO之类）配有专用计算机调整软件，通过计算机连线对机器进行设置调整。

普通的频率计适合测量幅度稳定的信号，不稳定、不连续的信号将严重影响普通频率计的计数。短波电台的SSB模式不适合频率计工作方式。测量SSB信号时，短波电台应该外加一个稳定的单音信号或者利用短波电台CW、FM、RTTY模式测量。用频率计来测量GSM手机的工作频率也是很困难的，因为GSM移动电话使用的TDMA（时分多址）技术是带有时隙的间隙发射体制， GSM移动电话发射的电波也不是连续电波，同样不适合普通频率计直接测量。

频率计的选择

选择频率计应该从实际应用的需要出发，本着“实用、够用”的原则选购。首先考虑频率计工作频率的覆盖范围，其次是功能涵盖，再次是性能指标的要求，最后是品牌、价格的选择。

频率计测量频率范围必须包含被测信号所在频段。一般用于家电维修的频率计能测几百兆赫兹已经足够用了，通常家电电路中时钟信号不超过100MHz。对于业余电台爱好者来说，1GHz、1.3GHz、2.7GHz 都可选择，因为业余电台用户主要需要测量的电台频率覆盖短波、144MHz 和 430MHz，最近兴起了 1200MHz 通信频段，因此，1GHz 的频率计基本够用，如果有1.3GHz 或以上的频率计更好。如果你是研究雷达或微波的，那么应该购买诸如 Agilent 53148A 之类的微波频率计。

在功能方面，对于主要用于频率测量的用户，买Frequency counter（频率计数器）简单实惠，对于实验室的用户，尤其是大学实验室的用户，选择Universal counter （通用计数器）功能多多，适合各种实验的需求。

在性能方面，高精度、高稳定度的频率计是好仪器，但价格昂贵，如果不是计量单位、认证实验室、时间基准应用，一般并不需要顶级性能（每秒12位）的频率计。普通的高档实验室使用每秒10位性能的，诸如Agilent 53131或53181A，已经不错了。

个人无线电爱好者选择国产入门级8位的频率计完全够用，价格上也更容易接受。要求高一些的用户可以选择配备TCXO振荡器的频率计。实际应用中，价格高昂的高位数高端频率计

胜利高VC2000频率计

并不是处处都有绝对优势，比如业余电台爱好者用频率计来校准短波电台的频率，那么普通二三百元的频率计显示到10Hz位，对电台频率校准已经够用，这时就算用高位数频率计显示出1/10Hz甚至1/100Hz位数据，实际上并没有实际意义。

品牌和价格方面,Agilent是高端射频仪器的著名生产厂家,产品可信度高。以数字多用表最为出名的Fluke在频率计方面也有不错的中档和高档产品。这两个品牌在国内购买也比较方便。Agilent 53131A、53132A、53181A提供了领先的高端性能，优质优价，选购这一档次产品的用户对价格不会过于敏感，寻找好的供货渠道会很有用。对于个人用户，国产品牌的频率计是不错的选择，低价位国货频率计有盛普SP1500C、胜利VC3165和VC2000等。南京盛普还有一系列中高档的频率计和微波频率计产品，具有相当的仪器生产实力。

在低端仪器市场和手机维修工具市场，还有很多售价仅为 100 多元的频率计，这些频率计也有较高的频率测量范围，大部分都属于基于廉价单片机的产品，综合性能对于简单的移动电话维修、家电维修、业余电台对讲机频率初级校准等低端应用还是够用的。

市场上盛普、胜利等都是国产仪器知名制造企业产品，在品质和售后服务方面都有较好的保障。

美国业余无线电爱好者提出新实验课题

◎文翰墨

超紫外光DX通信

100多年来，业余无线电爱好者中的先驱者总是在不断跟踪和探索着最先进的无线电应用和通信技术。无线电发明初期，人们争相使用大功率长波电台进行通信，而波长200nm以下的电磁波被认为毫无实用价值。经过业余无线电爱好者的反复试验，终于发现了在短波频率上可以用小功率实现DX无线电通信，开创了此后长达40多年的短波无线电通信鼎盛期。

去年11月，美国《CQ》业余无线电杂志上的WA2NDM专栏文章《更多实验领域》为业余无线电爱好者的实验活动进军更深的领域又提出了新的课题：紫外光DX通信。

现在，美国军方对超紫外光波通信表现出了很大兴趣。其原因在于，在波长为200~300nm的紫外光频域，大气散射有可能把光信号传播到远处，使超视距光通信变为现实。此外，这些波长处于所谓的“太阳盲区”，即太阳并不产生这些波长的光线，大气也不阻挡这些波长。强大的阳光能量会淹没其他的一般光信号，而紫外光信号的信噪比却可以获得很多倍的改善。然而，大气对这一频段光波所呈现的特性目前还没有很好地被人们所掌握，因此WA2NDM认为这正是业余无线电爱好者可以进行实验的一大新领域。

光波和无线电波一样，也是电磁波，和无线电波具有相似的特性。实际上现代无线电通信直接运用了很多光学原理。例如，评估超短波或微波点对点通信系统中阻挡物影响时用到的菲涅耳半径的概念就来自于光学。微波抛物面天线和卡赛格林天线的结构，也都是从光学理论移植过来的。只不过光波的波长更短、频率更高，在早期科学中，人类的观察、实验和应用只能涉及波长较长的无线电波，以及具有一定频率范围的可见光，传统上把电和光划分到了两个比较独立的研究范畴。把频率0.03Hz～3000GHz、不用人造波导而在空间传播的电磁波叫做无线电波，把频率更高一些的电磁波叫做红外光、可见光、紫外光等。但是随着时间的推移，光波和无线电波这两个不同频率范围的电磁波的技术与应用之间的关联和融合越来越密切起来。一个通俗的例子是，中国人民解放军过去设有“全军无线电管理委员会”，而现在则改为“全军电磁频谱管理委员会”，生动地体现了把整个电磁频谱作为单一的资源来考虑的趋势。

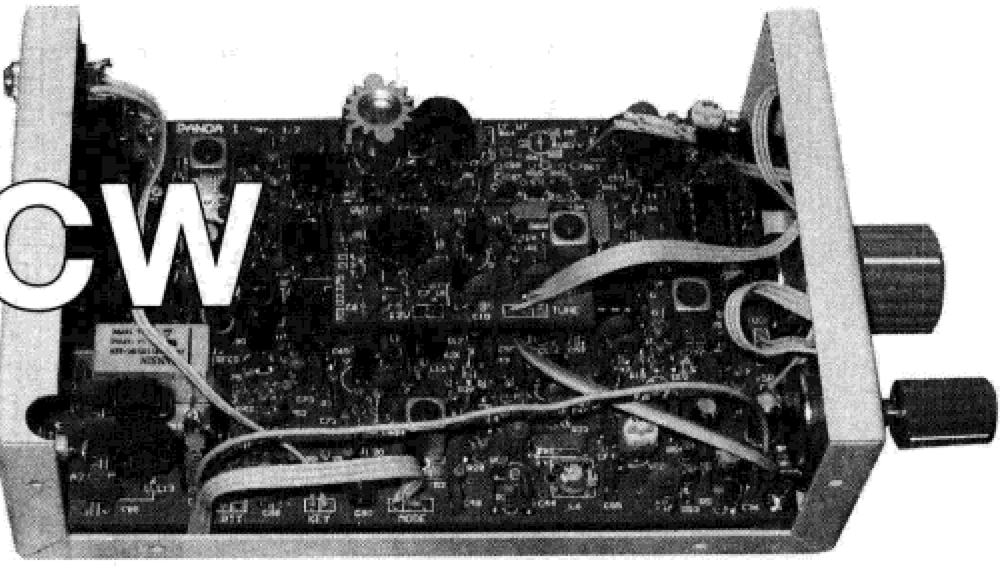
光通信是人类最古老的通信手段之一，古代的烽火台和海军的旗语是最经典的例子。但是除了舰艇之间的夜间灯光莫尔斯电码通信外，人类在无线电技术发展的早期没有能力更好地驾驭光波。后来随着高速半导体光电器件的诞生和完善，现在利用光波进行的宽带通信已经在全球得到普及，千家万户的电话、互联网、闭路电视等通信大都是以光通信作干线传输的，光通信涉及的电路技术大多来自无线电技术，只不过作为信息载体的光波只被限制在光导纤维中传播，使得这部分通信线路看起来更像“有线”通信。

但是无线光通信也有很多实际应用。电脑主机和红外无线鼠标之间利用红外光传输信息，电视机和红外遥控器之间用红外光传输信令，激光测距仪利用反射激光测量距离，气象和航空部门使用激光雷达探测气团、风切变等大气现象，土地资源和军事部门利用机载激光雷达测绘地形，导弹使用光制导实现导航和控制，20世纪80年代国外使用光束解决楼宇之间的宽带通信等，都是光波和无线电技术相结合的应用实例。光通信的优点之一是光波的波长极短、频率极高，可以对其进行很高速度的调制，实现信息容量极大的宽带传输。

不少业余无线电爱好者尝试过光通信实验，它们和无线电实验一样有趣。利用一个音频电流驱动的红外LED和一个带有音频放大的红外光敏管，就可以搭建一个传输距离为数十米的无线通话系统，在收发信端加上反射器则可以把距离扩展得更远。又如把一个激光LED发出的光束经过直射和反射两条路径照射到同一个光敏管上，光敏管的输出经过音频放大接到耳机，缓慢移动反射镜，就可以听到“差拍”声。但一般业余无线电爱好者的实验多使用波长为660nm的可见红光和波长为850nm的近红外光，正如我们的家用电视遥控器那样，这些波长的光波一般都只能在视距范围内直线传播，也容易受到室外强烈阳光的阻塞，不能实现DX通信。

WA2NDM提出的超紫外光DX通信研究和实验确实是一个有意义的课题，也为现代业余无线电爱好者如何拓宽思路、深入探索提供了一个有益的范例。

免接收调试的小型40mSSB/CW收发信机



◎赵辉（BD6RA）

高频电路制作是让无线电爱好者向往而又“畏惧”的事情，电路制作的复杂性和调试中的很多不确定性，让制作的成功率常常得不到保证，但电路制作成功后接收或发送的第一个信号将把之前制作中的艰辛一扫而空，让爱好者们欣喜不已。笔者设计过多款QRP收发信机，一直希望在收发信机制作和调试的简易性上能有所突破。本文介绍这款小型SSB/CW收发信机，是笔者以前自制的一款QRP收发信机的改进版，底噪低、灵敏度高、选择性好，值得一提的是，这款电路的接收带通电路采用宽带形式，免去了调试的麻烦，非常适合热衷于QRP且调试经验不足的爱好者自制。机器可以装在一个巴掌大的机壳里，非常适合携带野外使用。笔者为这款机器取名“PANDA 1”。

“PANDA 1”为一次变频收发信机，采用9MHz中频。本振采用VXO（可变频率晶体振荡器），具有较高的频率稳定性，覆盖范围为7.000～7.078MHz，完全能够满足40m波段使用。在收信模式，耗电为50～60mA，发射约700～900mA，输出功率在5W。修改电路参数后，这个机器还可以工作在其他波段。制作过程本文不再详述，重点介绍一下设计思路与调试方法。

工作原理

接收

电路原理图见图1。“PANDA 1”没有采用NE602这类双极性三极管混频芯片作为接收混频，而是采用4只1SS86组成的双平衡二极管环型混频。二极管环型混频电路比较复杂，但是动态范围大，混频性能远优于NE602这类双极性三极管混频芯片。双极性三极管混频芯片组成的混频电路虽然简单，但是混频效果不好，在夜晚，整个频段会混杂广播信号，无法正常接收业余电台信号。此外，双极性三极管混频芯片应付强信号能力也较差，会出现阻塞现象。因此，采用复杂一些的二极管环形混频电路是值得的。

“PANDA 1”的中频放大采用1片三洋公司生产的LA1201。这个芯片外围电路元件不多，有较大的增益，而且具备AGC功能。为了进一步改善解调性能，乘积检波采用4只1N60。

接收信号从“ANT”进入天线转换继电器，经L1、L2、L3、L4等组成的带通滤波器选频后，进入T1、T2等组成的双平衡二极管环型混频电路与来自本振的信号混频。混频后的信号由VT1组zz成的放大器补偿损耗，经L5等构成的匹配电路进行选频、阻抗变换，进入4只晶体组成的边带滤波器，滤掉不要的边带，然后送入LA1201进行中频放大。放大后的中频信号在1N60构成乘积检波器里，与来自BFO的信号差频，产生的音频信号送入LM386进行音频功率放大，推动扬声器发声。

VT3等组成了BFO电路，产生BFO信号。VXO电路为“PANDA 1”提供本振（LO）信号。VXO采用电动调谐，能够稳定地覆盖大约80kHz，甚至更宽。TUNE是调谐频率的电位器，调节这个电位器，就可以改变LO的频率，收到不同频率的电台。

发射

NE602用于发射混频具有电路简单等优势。“PANDA 1”采用了2片NE602，分别担任SSB产生和发射混频。“PANDA 1”的接收、发射共用一个BFO的振荡电路。话音信号从MIC接口进入U3，与来自BFO的载波信号混频，混频后产生SSB信号。这个信号通过开关二极管，送入晶体滤波器，滤掉不要的边带，送入U4，与来自LO的信号混频，产生需要的发射频率信号。发射与接收共用同一个VXO。U4输出的信号经过T6、T7选频，滤除谐波成分。

VT7是发射预放大，VT8是发射放大电路，来自发射带通滤波器的信号

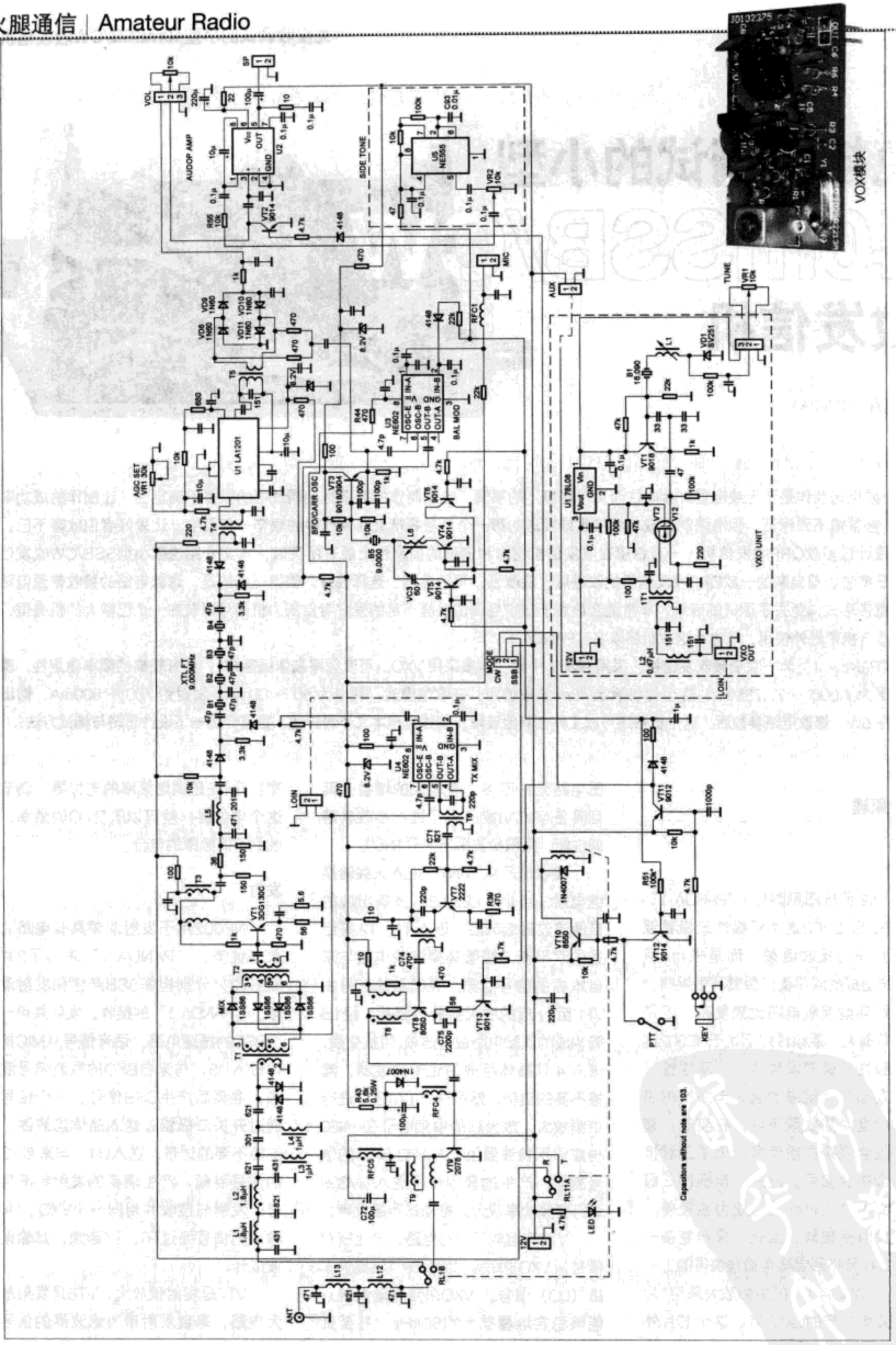


图1 PANDA1收发信机电路图

VOX模块

被进一步放大，经过T8阻抗转换，送到VT8组成的PA放大，经LPF滤波后，送到天线。

VT10是收发继电器控制管。按下“PTT”，VT10导通，RL1吸合，收发电源切换。与此同时，完成天线切换。VT11是CW键控管。按下电键，这个管子导通，为CW控制功能提供电力。

VT13为发射控制开关管，控制推动管VT8的发射极。VT13导通，推动管才能工作。模式开关的2脚为VT13发射控制脚，接开关的动触头，通过模式开关可以选择SSB发射或CW模式发射。

U5等构成侧音电路。按下电键时，U5开始工作，1kHz的音频信号通过R55进入U2。C93决定了音频的频率。容量越大，音调越低，有条件可选用高质量的发烧电容。VR2决定了侧音的音量，可适当调整到适合自己的音量。侧音的音量不受音量电位器控制。

调试

1. 先调整BFO、VXO单元

BFO单元

务必注意，模式开关的2脚接开关的动触头。把模式开关置于SSB，频率计接在VT3的发射极，调整L6，使频率偏离中心频率约1.5kHz，大约在8.99778MHz。这时，SSB模式为LSB。注意，由于晶体性能上的差异，自制的晶体滤波器中心频率f_c是不同的，这个频率仅供参考。

断开RFC5，使功率管2078不工作。模式开关置于CW，按下电键，调整VC3的容量，使BFO频率在8.99880MHz左右，也就是高出上述8.99778MHz这个频率700～1000Hz。实际上，使用471瓷片可基本达到这个频率。如果不使用CW功能，这个步骤可省略。

VXO单元

先不要把VXO与主板连接，单独给VXO模块接12V电源。在VXO OUT接1个47Ω的负载电阻，频率计接在VXO OUT，TUNE电位器调到电压最低端，调整L1，使低端频率为16.0000MHz，这样就调好了。在这样的情况下，VXO高端在16.080MHz左右。如果牺牲低端，高端可高一些。调好后就可以插在主板上了。VXO覆盖范围与晶体、变容管有关。

2. 接收调试

VT1在大电流状态下工作，务必安装散热器。这款电路的接收采用宽带带通滤波器，无需任何调整。

先调好接收中放U1的AGC控制电位器VR1，然后调整中频变压器T5。

不要接天线。用数字万用表测量U1的4脚、6脚的电压，调节VR1，使4脚电压与6脚电压的差等于0.5V，这时，IC工作于最佳AGC状况。4脚大约在1.19V，6脚约在0.65V。注意：这个电位器位置不对，也会导致无声。千万不要短路2、3脚，以免造成IC损坏。

对于经验不足的用户，简单的方法是：带上耳机，缓慢调节VR1，当出现流水声最大的一点时，U1就可以工作了。但是这一点不一定是AGC的最佳点。

接下来调整中放通道中频变压器T5。这个中频变压器很关键，对整机灵敏度有很大影响。不接天线，开大音量，调整T5，仔细听扬声器的流水声，流水声随着磁芯的调整会越来越大，C25如果容量合适，磁芯调到流水声最大点，如果再调，流水声又会变小，那么这个最大点就是“峰点”。如果反应迟钝，或没有最大点，可能是中频变压器断线或绕错。

把天线接上，扬声器里应传出来自天空的“沙沙”声或信号了。转动VXO调谐电位器，试着收个信号，噪声信号也可以借助，再次微调T5，使收到的信号最强。这样，接收就调好了。

“PANDA 1”接收时非常省电，大约耗电50mA。如果略加大VT1的发射极电阻R3，电流还可以进一步减小。经常用电池的用户，可在不影响接收效果的情况下，适当加大这个电阻，以减小电源消耗。

3. 发射调试

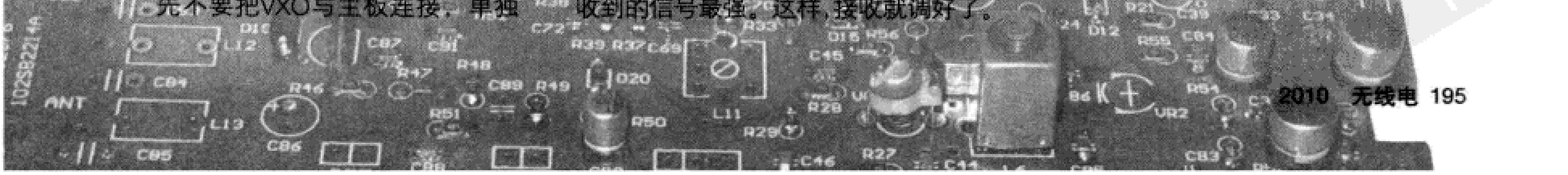
此项调试务必在功率管固定在散热板上之后进行，不加散热板调试功放会因来不及散热而损坏功放管，烧毁功放管是瞬间的事。

先调整功率放大器的静态电流。去掉天线，在天线端接上一个50Ω的假负载。把万用表调到250 mA挡再串入总电源，接通电源。模式开关置于SSB模式。按下PTT，此时万用表电流指示应很小，总静态电流小于100mA，流过2078的电流大约在20mA。R43是功率管2078的偏流电阻。一般来说，R43为5.6kΩ时正好。如果静态电流过大，管子会过热，这时可略加大这个电阻。如果静态电流太小，可略减小这个电阻。

严禁使用一根电线代替天线或使用不谐振的天线调试发射，这样会产生自激，损坏发射管。

发射带通没有可调元件，无需调整。在电源回路里串联1A的表头，按动电键或PTT对话筒说话，应该有接近1A的电流，测量50Ω假负载，应该有$10V_{rms}$以上的高频电压。C71、C74对发射功率有较大影响，C71采用821，C74采用471。这两个电容太小，会降低输出功率，太大，会造成不说话也有很小的功率漏出。C75的容量也会影响功率输出，笔者采用222。

与T6、T7并联的221电容基本谐振在7MHz，可以正常使用。如果有高频毫伏表或示波器，可以略调整这两个电容，使谐振点更准。电路图中未标注的电容为103瓷片电容。



业余电台仪器实战系列 3

信号发生器使用攻略

◎杨法（BD4AAF）

信号发生器也称信号源，是用来产生振荡信号的一种仪器，为使用者提供需要的稳定、可信的参考信号，并且信号的特征参数完全可控。所谓可控信号特征，主要是指输出信号的频率、幅度、波形、占空比、调制形式等参数都可以人为地控制设定。随着科技的发展，实际应用到的信号形式越来越多，越来越复杂，频率也越来越高，所以信号发生器的种类也越来越多，同时信号发生器的电路结构形式也不断向着智能化、软件化、可编程化发展。

信号发生器的应用与意义

信号发生器所产生的信号在电路中常常用来代替前端电路的实际信号，为后端电路提供一个理想信号。由于信号源信号的特征参数均可人为设定，所以可以方便地模拟各种情况下不同特性的信号，对于产品研发和电路实验特别有用。在电路测试中，我们可以通过测量、对比输入和输出信号，来判断信号处理电路的功能和特性是否达到设计要求。例如，用信号发生器产生一个频率为1kHz的正弦波信号，输入到一个被测的信号处理电路（功能为正弦波输入、方波输出），在被测电路输出端可以用示波器检验是否有符合设计要求的方波输出。高精度的信号发生器在计量和校准领域也可以作为标准信号源（参考源），待校准仪器以参考源为标准进行调校。由此可看出，信号发生器可广泛应用在电子研发、维修、测量、校准等领域。

对业余无线电爱好者来说，信号发生器用得最多的地方是测量电台、对讲机的灵敏度。很多HAM都认为用综合测试仪来调测对讲机灵敏度最有效果，其实，用综合测试仪来调测对讲机灵敏度主要用到了综合测试仪的信号发生器和信纳比计两项功能。信号发生器发出与对讲机相同调制模式的信号（一般是FM或者AM），然后逐渐减小输出信号的幅度（强度），同时通过信纳比计监测对讲机音频输出的噪声水平。当对讲机输出音频有效信号与噪声的比例劣化到一定程度时(一般对讲机灵敏度测试信噪比标准*S/N*=12dB)，信号发生器输出的电平数值就等于所测对讲机的灵敏度。在此测试中，信号发生器模拟了对讲机实际接收的空中信号，而且模拟的信号强度是可以人为控制调节的。

有的HAM手头没有信号发生器，调电台的灵敏度只能靠收听空中实际信号作为参照。这种做法显然没有使用信号发生器来得方便。用综合测试仪或信号发生器测量对讲机的灵敏度，其标准的连接方法是：信号发生器信号输出通过电缆接到对讲机的天线输入端，对讲机的音频输出端连接综合测试仪或信纳比计的音频输入端。笔者在有的对讲机维修地点看到，测对讲机灵敏度时，只连接信号发生器，然后通过听对讲机扬声器的音质来大致判断信噪比，这显然是不规范的。此外，我们还需要注意的是测试标准的不同，即对讲机输出音频预期到达的信噪比阈值不同，如*S/N*=10dB或*S/N*=20dB，即使同一台对讲机所测量得到的灵敏度数值也会不同。联想到在一些对讲机技术说明中出现的“静噪开启灵敏度”、“可用灵敏度”等名称，其实都是采用不同的测试标准。不同测试标准得到的灵敏度数值并没有相互比较的意义。

信号发生器可以用来调节电台和对讲机的灵敏度，其基本原理就是使对讲机接收通道中的滤波槽路对有用的信号传输衰减达到最小，从而使对讲机具有较高的灵敏度，这在一些业余电台改频改造和自制电台中应用得比较多。信号发生器在此同样扮演的是模拟空中信号的角色。如果对讲机本身具有接收信号强度S表或者测试点，可以用信号发生器输入一个使机器信号表指示30%左右强度的信号(容易看出调节的变化效果)，然后按照对讲机维修手册的说明，调节接收槽路，使信号表指示到最大，要是在调节过程中出现信号表满表的情况，可以再把信号发生器的信号幅度调小一些。通常，为了保证整个频段的灵敏度，平均需要采用在目标频段的高端、低端、中心多个频率点作为参考点进行“统调”。对于没有信号强度指示反馈的对讲机，只能通过在低信噪比状态下，监视信噪比的改善与劣化来调整接收槽路。其实，信号发生器除了可以调节对讲机的接收灵敏度，也可以用来调校收音机和电视机，只要信号发生器能产生相同类型的信号即可。

信号发生器可以用来查找电台、对讲机的接收通道故障。其基本原理是：由前级往后级，逐一测量接收通

路中每一级放大和滤波器，找出哪一级放大电路没有达到设计应有的放大量或者哪一级滤波电路衰减过大。信号发生器在此扮演的是标准信号源的角色。信号源在对讲机天线输入端输入一个已知幅度的信号，然后通过超高频电压表或者频率足够高的示波器，从天线输入端口逐级测量增益情况，找出增益异常的单元，再进一步细查，最后确诊存在故障的零部件。

信号发生器可以用来调测滤波器，典型的就是带通滤波器和电台上用的双工器。调测滤波器的理想仪器——网络分析仪和扫频仪，其主要功能部件之一就是信号发生器。在没有这些高级仪器的情况下，信号发生器配合高频电压测量工具，如超高频毫伏表、频率足够高的示波器、测量接收机等，也能勉强调试滤波器，其基本原理是测量滤波器带通频段内外对信号的衰减情况。信号发生器在此扮演的是标准信号源的角色，信号发生器产生一个相对比较强的已知频率和幅度信号，从滤波器或者双工器的 INPUT 端输入，测量输出端信号衰减情况。带通滤波器要求带内衰减尽量小、带外衰减尽量大，而陷波器正好相反，陷波频点衰减越大越好。因为普通的信号发生器都是固定单点频率发射的，所以调测滤波器需要采用多个测试点来“统调”。如果有扫频信号源和配套的频谱仪，就能图示化地看到滤波器的全面频率特性，调试起来极为方便。

信号发生器可以用来校准对讲机和接收机的信号强度表，信号发生器在此扮演的是标准信号源的角色。按照各机型的维修手册要求，在校准频点输入特定强度的信号，此时校正S信号强度表的实际指示。在实际调整中，我们可以看到，虽然国际上有接收机S信号表指示的参考场强标准，但现在很多厂家都执行自家的标准，使S表指示偏大而指示范围偏小，给用户的感觉就是S表指示很容易满表，暗示用户它的接收灵敏度高。

除了在射频方面的应用，信号发生器在音频领域也有广泛的应用。

信号发生器用于对讲机话音电路和调制电路的调测。信号发生器代替驻极体拾音器向对讲机的“MIC in”送入符合要求的1kHz单音信号（输入幅度要求在维修手册会有标明），然后使调频对讲机处于发射状态。正常情况下，在接收机中会听到1kHz的音频，通过调制度仪,可以测量出被测对讲机的调制幅度。由此,可以检测和调整调频对讲机的语音调制电路（调制度一般在对讲机内部可调整）。一般25kHz间隔FM调制的对讲机,要求在1kHz音频下调制度在4.5kHz左右。调频对讲机调制过小,语音会偏轻，调制过大,会影响话音,并增加占用带宽。有的发射无语音故障的对讲机,也可以通过类似方法从MIC in开始逐级测量语音信号状况。

信号发生器用于音频功放的维修。信号发生器在此扮演的是理想信号源的角色。信号源产生一个适当幅度的音频正弦信号，作为音频功放的信号输入。通过测量音频功放的输出幅度和波形,我们可以判断音频功放电路工作是否基本正常，包括是否有自激等不正常状态以及失真情况。

信号发生器的基本原理

现代信号发生器的结构非常复杂，与早期的简易信号发生器天差地别，但总体基本结构功能单元还是类似的。信号发生器的主要部件有频率产生单元、调制单元、缓冲放大单元、衰减输出单元、显示单元、控制单元。早期的信号发生器都采用模拟电路，现代信号发生器越来越多地使用数字电路或单片机控制，内部电路结构上有了很大的变化。

频率产生单元是信号发生器的基础和核心。早期的高频信号发生器采用模拟电路LC振荡器，低频信号发生器则较多采用文氏电桥振荡器和RC移相振荡器。由于早期没有频率合成技术，所以上述LC、RC振荡器优点是结构简单，可以产生连续变化的频率，缺点是频率稳定度不够高。早期产品为了提高信号发生器频率稳定度，在可变电容的精密调节方面下了很多功夫，不少产品都设计了精密的传动机构和指示机构，所以很多早期的高级信号发生器体积大、重量重。后来，人们发现采用石英晶体构成振荡电路，产生的频率稳定，但是石英晶体的频率是固定的，在没有频率合成的技术条件下，只能做成固定频率信号发生器。之后也出现过压控振荡器，虽然频率稳定度比LC振荡器好些，但依然不够理想，不过压控振荡器摆脱了LC振荡器的机械结构，可以大大缩减仪器的体积，同时电路不太复杂，成本也不高。现在一些低端的函数信号发生器依然采用这种方式。

随着PLL锁相环频率合成器电路的兴起，高档信号发生器纷纷采用频率合成技术，其优点是频率输出稳定（频率合成器的参考基准频率由石英晶体产生），频率可以步进调节，频率显示机构可以用数字化显示或者直接设置。早期的高精度信号发生器为了得到较小的频率步进，将锁相环做得非常复杂，成本很高，体积和重量都很大。目前的中高端信号发生器采用了更先进的DDS频率直接合成技术，具有频率输出稳定度高、频率合成范围宽、信号频谱纯净度高等优点。由于DDS芯片高度集成化，所以信号发生器的体积很小。

信号发生器的工作频率范围、频率稳定度、频率设置精度、相位噪声、信号频谱纯度都与频率产生单元有关，也是信号发生器性能的重要指标。

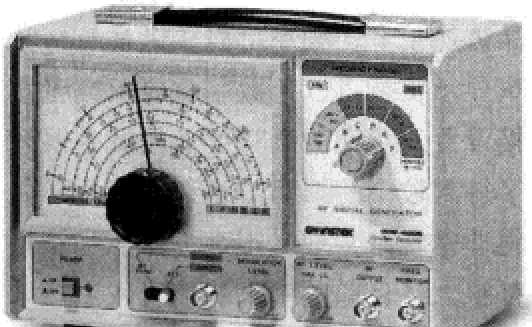
信号发生器的一大特性就是可

以操控仪器输出信号的幅度，信号通过特定组合衰减量的衰减器达到预定的输出幅度。早期的衰减器是机械式的，通过刻度来读取衰减量或输出幅度。现代中高档信号发生器的衰减器单元由单片机控制继电器来切换，向电子芯片化过渡，衰减单元的衰减步进量不断缩小，精度相应提高。大频率范围的高精度衰减器和高精度信号输出属于高科技技术，这也是国内很少有企业能制造高端信号发生器的原因之一。信号发生器的信号输出范围和输出电平的精度和准确度也是标志信号发生器性能的重要指标。

信号发生器的分类与用途

信号发生器按传统工作频段分类，有超低频信号发生器、低频信号发生器、高频信号发生器、微波信号发生器。

超低频信号发生器一般是指工作频率下潜到0.1Hz以下的信号发生器，一般用于专业上的特殊用途。低频信号发生器一般是指工作频率主要在1Hz～1MHz的信号发生器，多用于音频领域。高频信号发生器，也叫射频信号发生器，一般是指工作频率从100kHz到几百兆赫的信号发生器(目前频率高的可以达到几吉赫兹)，多用于通信和测量领域。微波信号发生器一般是指工作频率高达数吉赫兹到几十吉赫兹的信号发生器，多用于雷达领域。



LC振荡器核心的简易高频信号发生器

常见的函数信号发生器

随着频率合成技术和电路的发展，很多信号发生器都可以提供更大的频率覆盖范围，一机多能，频段的划分渐渐成为一个模糊的观念。例如常用的Agilent 33250A 函数发生器就可以工作在 1μHz ～ 80MHz 的范围，包含传统的超低频、低频、音频和 HF 频段。

信号发生器按频率产生机制，分有LC振荡器信号发生器、压控振荡信号发生器、频率合成信号发生器。具体在上文中已有详述。目前低端的廉价信号发生器多采用LC振荡器，中低端的函数信号发生器多采用压控振荡器，中高档的信号发生器多采用DDS频率直接合成技术。随着DDS技术的普及和芯片价格的下降，越来越多的信号发生器采用DDS技术，并有向入门级产品发展的趋势。近期，很多一两千元的函数信号发生器也开始使用DDS技术。

信号发生器按功率输出，可以分为简易信号发生器、标准信号发生器、功率信号发生器。简易信号发生器在信号输出幅度控制上比较简单，只使用一个简易衰减器，对输出的信号不能直接量化控制。标准信号发生器在信号输出幅度上有严格的控制，能提供准确的输出幅度读数。一般高频标准信号发生器输出幅度在-127～+23dBm。功率信号发生器则提供较大的功率输出，一般在+20dBm以上，功率大的可达几瓦到几十瓦。

信号发生器按照产生信号类型可以分为正弦信号发生器、函数信号发生器、脉冲信号发生器、随机信号发生器、专用信号发生器。正弦信号发生器提供最基本的正弦波信号，可以作为参考频率和参考幅度信号，用于增益和灵敏度的测量以及仪器的校准。常见的高频信号发生器和标准信号发生器都属于此类。函数信号发生器可以产生各种函数波形信号，典型的有方波、正弦波、三角波、锯齿波、脉冲等。函数信号发生器一般工作频率不高，频率上限在几兆赫到一二十兆赫，频率下限很低，大多可以低于0.1Hz。函数信号发生器用途非常广泛，科学实验、产品研发、生产维修、IC芯片测试中都能见到它的身影。脉冲信号发生器和随机信号发生器多用于专业场合。专用信号发生器是产生特定制式信号的专用仪器，如常见的电视信号发生器、立体声信号发生器等。

高端信号发生器有矢量信号源、基带信号源，主要应用在航空、国防等尖端领域，价格也非常昂贵，在此就不多做介绍。

信号发生器的使用与测量单位

普通标准信号发生器使用比较简单，首先是设置工作频率，高频信号发生器一般采用“MHz”作单位，工作频率较低的信号发生器，如函数信号发生器，也有以“kHz”作单位的。其次是选择调制方式或波形，就是选择AM还是FM，或者选择正弦波还是方波，再次按需设定调制频率，最后设定信号输出幅度。

信号发生器的信号输出幅度有多种表示单位，有电压单位V、mV、μV（也可以用dB表示为dBμV和dBmV），功率单位dBm。它们之间的换算可以通过查表或者计算求得。现在很多中高档信号发生器输出幅度设定的单位是可以选择的，方便用户应用。一般大部分对讲机说明书中标称灵敏度的单位是μV（微伏），而很多信号发生器和综合测试仪常用dBm作为测量单位。附表是50Ω系统dBm与μV数值换算的对照表。

附表 50Ω系统dBm与μV换算表

dBm	μV
-125.0	0.126
-124.0	0.141
-123.0	0.158
-122.0	0.178
-121.0	0.199
-120.0	0.224
-119.0	0.251
-118.0	0.282
-117.0	0.316
-116.0	0.354
-115.0	0.398
-114.0	0.446
-113.0	0.501
-112.0	0.562
-111.0	0.630
-110.0	0.707
-109.0	0.793
-108.0	0.89
-107.0	0.999
-106.0	1.121

业余电台爱好者在使用信号发生器调测对讲机时，切忌不要使对讲机误发射，有的信号发生器没有反向功率输入保护，或者反向输入保护承受功率有限，极容易导致信号发生器内部衰减器损坏，导致信号输出电平不准。保护信号发生器的土办法是在信号源输出口安装20～30dB的衰减器，这样可以将对讲机误发射时对信号发生器造成的影响降到最小，适合在非精密测量要求下使用。安装衰减器后，只要将信号发生器输出信号幅度读数减去衰减器衰减量即可，多了一个简单的数学运算而已。

信号发生器的品牌

目前，国内高端信号发生器以美国Agilent（安捷伦）和德国Rohde&Schwarz（罗德与施瓦茨）品牌产品为主。此外，Tektronix（泰克）、Aeroflex-IFR和日本ANRITSU（安立）的信号发生器也很好。国内高档函数信号发生器用得比较多的是Agilent 33210A和33220A，高端一些的产品是Agilent 33250A。高频（射频）信号发生器主要是Agilent E4428C和罗德与施瓦茨的SMC100A。

SMC100A一改以往高精度信号源笨重、占地大的形象，在同级别产品中可以用“轻巧”二字形容。

国产信号发生器中，普源RIGOL和盛普，以及中国台湾老品牌固纬，都是有很好口碑的产品，扬中科泰的产品也不错。普源的DG1022是一款普及型的中档函数信号发生器，设计理念先进，外观时尚，具有很好的性价比，DG1022售价只有国际品牌同类产品的20%左右，完全适合普通研发和维修以及教学使用。

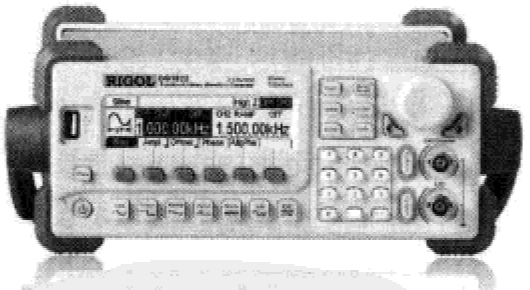
信号发生器的选购

选购信号发生器，首先要考虑的是信号源的类型要适合应用的需要。对于业余无线电爱好者，如果主要用于调测对讲机灵敏度，就需要高频信号发生器，如果主要用于普通电器维修和基础电路实验，则普通函数信号发生器更为适合。对于维修电视机的朋友，则需要电视信号发生器，调频立体声信号源适合维修收音机之用。如果你需要用于数字信号测试，那么矢量信号源更适合你。

其次，信号发生器的频率覆盖范围和调制模式以及信号输出幅度都要满足应用的需要。调FM对讲机的灵敏度一般要求信号发生器具备调频信号调制，频率覆盖对讲机工作频段，信号发生器的信号输出幅度最小不大于-120dBm，能达到-127dBm则更好。

再次，所选的信号发生器的价格应该在自己的预算范围之内，中高档的信号发生器都属于高价值仪器，高档的信号发生器性能卓越，使用也顺手，但如果没有足够的预算，则只能对它敬而远之。高端的仪器除了性能指标有保障外，在一定程度上能够为你的实验室“撑场面”，增加懂行的客户对你提供测试结果的信任度，也代表测试机构的实力。

最后，购买高价值仪器售后服务和维修保障也很重要，有的产品包含不同年限的保修报价是不一样的，购买时不能只贪图便宜。



普源DG1022函数信号发生器

罗德与施瓦茨SMC100A 射频信号源

Agilent 33210A 函数信号发生器

我的多功能数字扫频仪DIY故事

◎金宏伟

扫频仪，又叫“频率特性分析仪”，其实就是标量网络分析仪的前身。用它可以测量各种滤波器、高频放大器、天线等设备的频率特性。它以频率为水平轴，幅度为垂直轴，用图形方式高效快捷地将被测元件或电路的传输特性、阻抗特性、反射特性直观地显示出来，是喜欢DIY 高频电路的电子爱好者梦寐以求的测量利器。市场上成品的标量网络分析仪价格不菲，偏爱动手制作的爱好者们能DIY一台吗？当然可以，最简单的扫频仪——一个压控振荡器、一个锯齿波发生器、再配上一台示波器就成了，如图1所示。

当然，为了能清晰准确地读出不同位置的频率，还需要一个频标电路。完全用模拟器件实现以上的电路并不算很难，但问题是：（1）你无法准确地设定每次扫描的起止频率；（2）频标能解决一些频率准确性的问题，但不会解决得太好，只是一个将就的方案；（3）扫频范围无法做到足够的窄，根本无法窄到可以分析陶瓷滤波器甚至晶体滤波器的程度；（4）大多数人在条件允许的情况下，都更喜欢把功用如此之大的扫频仪做成一个集成的一体化的仪器，而不是一个示波器的附件。

我一直都很希望DIY一台扫频仪（当然还有频谱仪），在我能熟练地掌握模拟电路、数字电路和高频、超高频电路后，我头脑中的扫频仪却仍然无法解决上面的4个问题。而当我有意无意之间迈过了单片机这个横亘我心中十多年的巨大门槛后，才恍然发现：我的扫频仪可以出世了！

我的扫频仪故事和去年杂志里魏坤同学的示波器故事一样，都是从一个12864 液晶屏开始的，区别只是他拿到这个屏时最先想到的是做个示波器，而喜欢玩高频的我最先想到的却是扫频仪。

雏形

我用一片AVR 的ATmega8L 顺利地将这个蓝底白字的液晶屏驱动起来，然后居然发现同城就有人卖AD9851 的模块。有了这个DDS 模块，我就可以用单片机非常简单地设置它，准确地输出0～60MHz范围内任何我想要的频率信号。在这一步中，魏坤示波器设计中的双MCU 方案给了我很大的启发，于是我也采用两片ATmega8L，一片负责屏幕显示，另一片做主控，负责驱动DDS ，并通过两MCU 间的SPI总线通信控制显示屏的内容。

图2就是我的扫频仪最开始的样子。很快我便将这个扫频仪装进了机壳，为它设计了漂亮的外观，见图3。

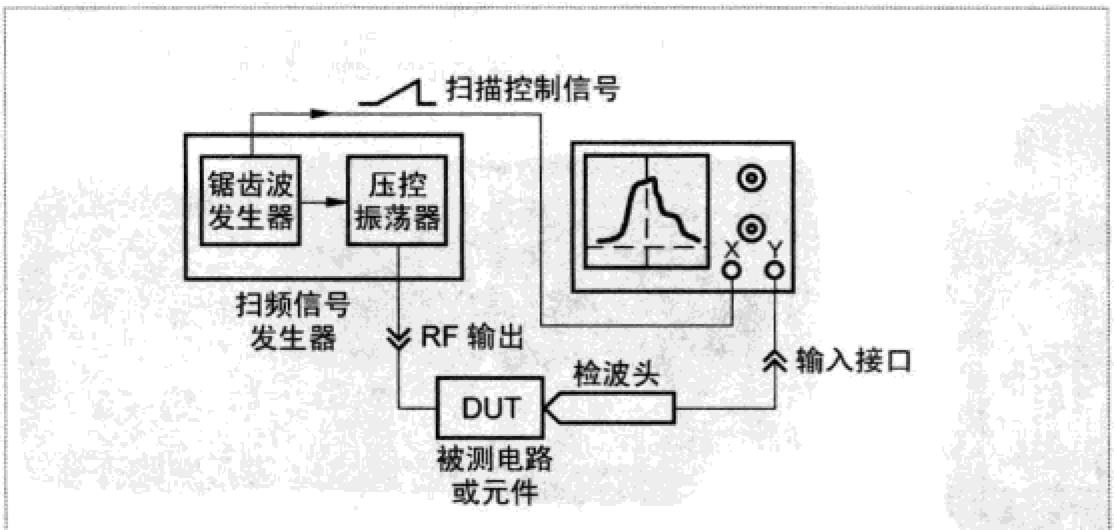


图1

完善

在硬件方面，我为DDS 的输出加了一个0～50dB 的步进衰减器（每步10dB），输入接口的设计我自认为颇具创意，我使用了一个USB 插座（同样的设计在我之前DIY的毫伏表、频率计等中也出现过，已经被我标准化了）。当然这里只是使用了USB的物理结构，这个插座可以对外提供正负5V 的电源，并有一个测量范围为0～2500mV 的直流电压输入端（也可以连续调节至0～250mV）。这样，我就可以在这个端口自由地外接各种有源或者无源的测量探头，比如检波头、功率计探头、反射电桥等。

通过对软件的编程，我仅用4个按键就实现了对扫频范围快速而细致的设定，也使我看到了智能仪器中软件所能发挥的巨大潜力。

业余无线电爱好者在DIY 时，最头疼的事情莫过于电感（尤其是小电感）的制作了。我曾设计制作了一个数字电桥（就是出现在今年第7期杂志“论坛精华”栏目里的那个），但它对10μH 以上的电感才能作相对准确的测量，也只能勉强测量1～10μH 的电感，而我却眼见自己1μH 以下的电感越用越多。

凭着这个扫频仪灵活的输入接口的支持，我又设计了一个多功能的小附件，图4中带个小表头的盒子就是。结合扫频仪内部的软件，它可以用类似Q表的谐振方式测量60nH～1mH 的电感，并可粗略判断其Q值。但与传统Q表的手动调谐不同之处在于，它是用软件扫频的方法找出LC回路的谐振点，并直接计算出电感值。另外，它还能定性地分析比较高频晶体管的频率特性，也可以作为一个简便的测量平台，测试中周等元件的中心频率。有了这个附件，我也顺便知道了，原来2N3904 的频率特性和9014 是差不多的!

升级

扫频仪的制作到这里似乎可以告一段落了，但我始终对它工作的频率范围不能满足，国产的老掉牙的BT-3还能工作到300MHz 呢，事情直到我邂逅了B1507 才有了新的进展。它是一款极好的PLL 芯片，最高工作频率达2.5GHz，同时具备充电泵和V/R 输出，却又非常廉价（每片不足10元），尤其好在它的个头相对够大，引脚间距为比较宽松些的1.27 mm，对我这样的不会画电路板的人来讲，拿它做“搭棚”式（或者叫“死虫”式）焊接是再好不过的了。图5里就有一条MB1507 的“死虫”。

于是我用一片MC1648 作VCO，一片MB1507 和一片CA3140 运放作PLL，还有一片uPC1651 作输出放大，完成了一个60～150MHz 的信号源，然后又加了一个波段控制板，让主控MCU 可以自由切换DDS 和PLL 信号源。这样，我的扫频仪顺利升级到了0～150MHz。

又过了大约两个月，我用2SC3357 搭棚做了两个VCO，150～270MHz 和270～500MHz 的各一个。2SC3357 的封装非常适合于超高频的共集电极电路（比如Clapp 振荡器）：先将一个大号的贴片104 电容立着焊在底板上，然后把2SC3357倒扣放在上面，它中间的集电极的散热片正好与电容的上端贴紧，焊好即成。两个VCO 的输出汇至一片2SC3355 放大，再经一个PIN 开关二极管（BAR63）与I、II 波段的输出连在一起。2SC3355 是TO92 封装，中间脚是发射极，特别适合做超高频的共发射极放大使用。这里的PLL 控制仍然使用了一片MB1507。

自制这段电路的爱好者应该注意，制作时，如果MB1507 的f_{in}输入端离VOC 的输出比较远，两者间应该用双绞的塑料线连接而不是用同轴电缆，因为同轴电缆的阻抗太低，并不适合这里的连接。这样，我的扫频仪一举超越了经典的BT-3，最高频率达到了500MHz。图6是测量一个433MHzSAW 滤波器的图形。

完工

再后来的事情，我就有点“烧包”了：先是觉得机器内部还有空地方，于是就塞进去了一个÷200 的分频器，输出接到了主控MCU 的计数器T2端，输入用电容隔离后直接接到了USB输入端口，与原来的直流输入复用。这个分频器的前端是一片74F74，最高可用的工作频率可以达到60MHz。我的扫频仪就又多了个频率计功能，但因为主控MCU 原来并未考虑要加这个功能，所以用的是内部RC时钟。这个

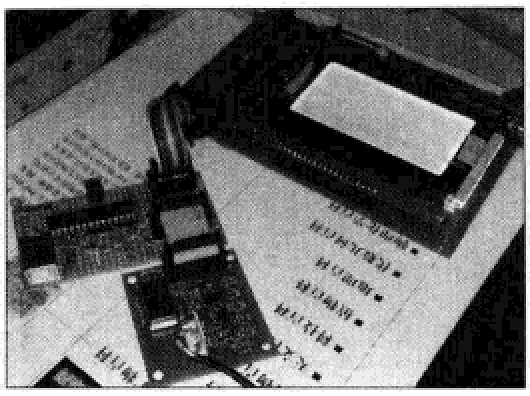


图2 扫频仪的初始模样

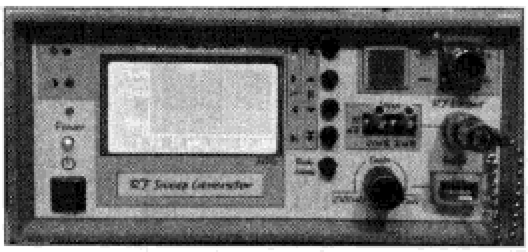


图3 我设计的扫频仪外观

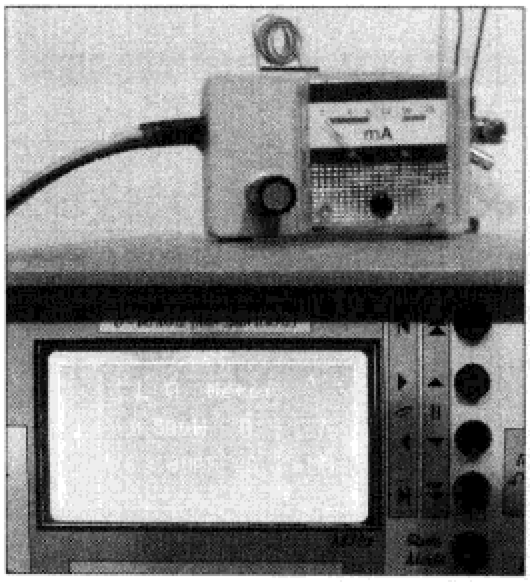


图4 我设计的可测电感和分析频率特性的附件

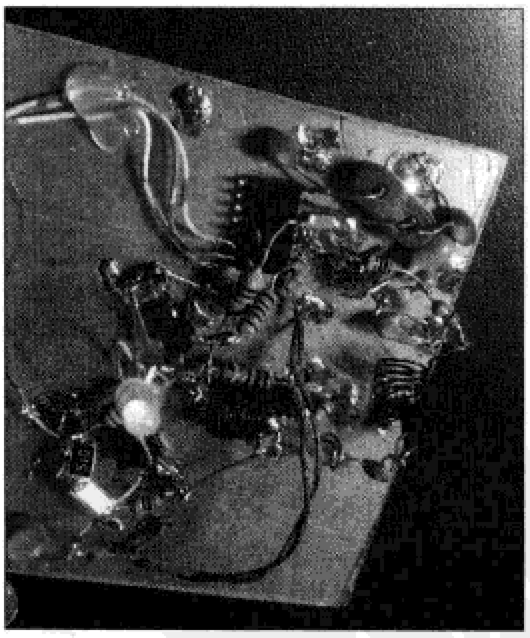


图5 搭棚焊接的PLL-VCO电路

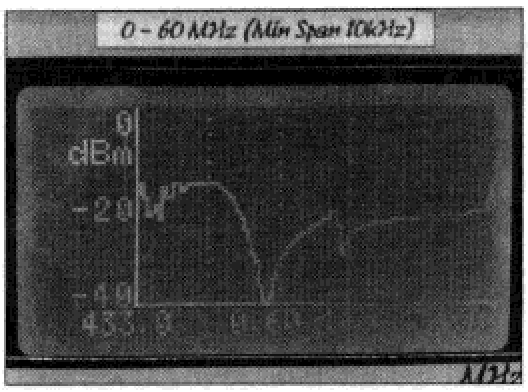


图6 测量一个433MHz SAW滤波器的图形

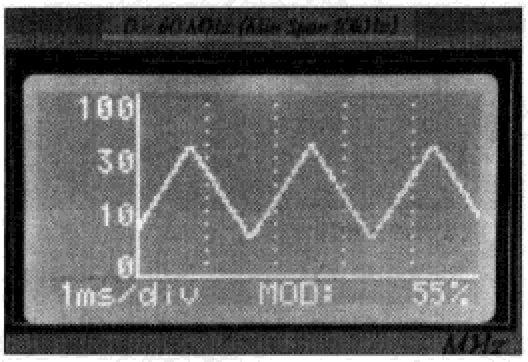


图7 调制度测量

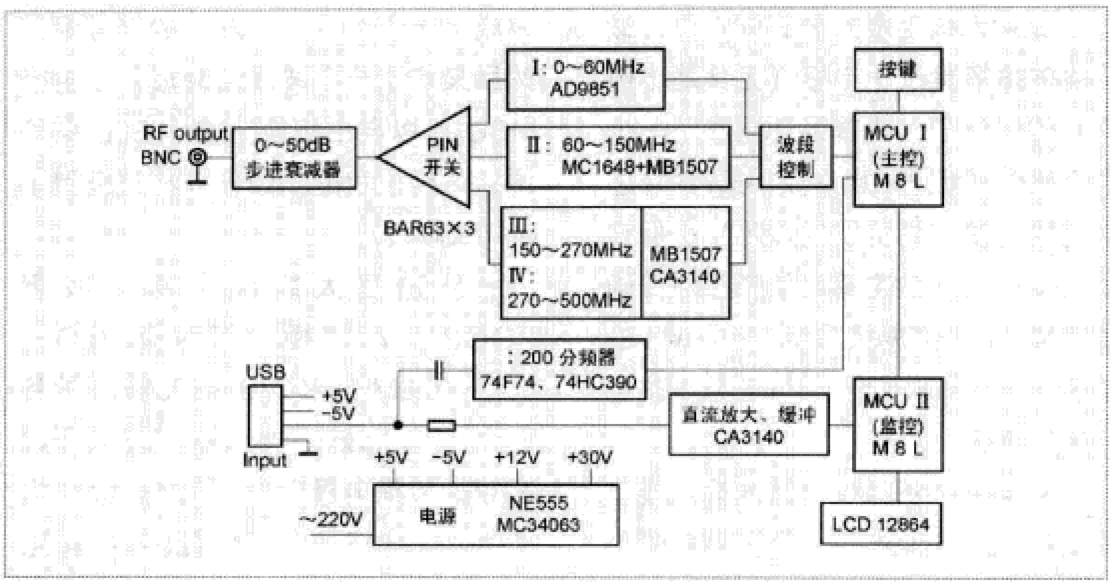


图8 扫频仪结构框图

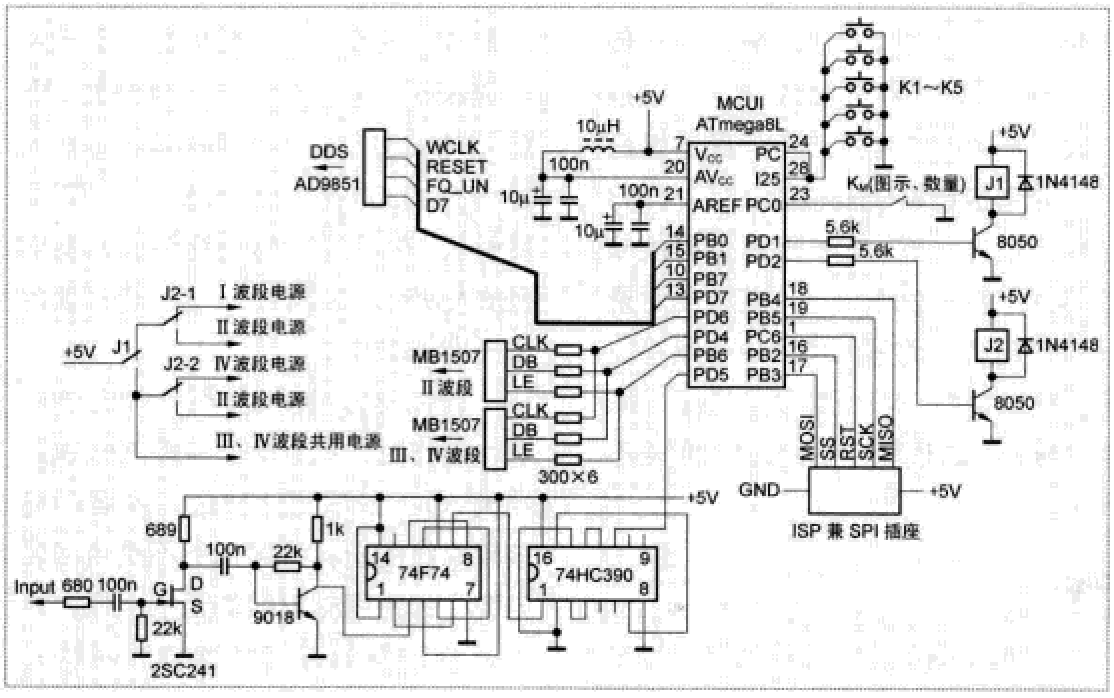


图9 主控电路

后加的频率计实际上并不稳定和准确，但读三位数是没问题的，有人要仿制这块电路的话，建议MCU 采用4MHz 晶振来做时钟，软件也要作相应的改动。

我以前DIY 过一个频率计，输入也是同样的USB 端口，很容易就为它配了一个晶振测试附件。因为这个附件也兼容扫频仪的输入接口，顺理成章，我的扫频仪也就多了一个测量晶振的功能。

有了频率计功能，我就可以把这个扫频仪称做“无线电综合测试仪”了，但它的软件似乎还有开发的潜力，于是，AM 调制度测量功能就浮出了水面。

这个功能其实很简单：结合检波探头，把高频信号的AM 调制包络在液晶屏上显示出来，并自动计算出调制度就可以了。包络显示就是个简易的专用示波器，我把它设计成固定水平扫速（1ms/div），软件同步触发，这些仅靠ATmega8L 内部的ADC就可以轻松做到，也足够显示大多数音频调制信号了（1kHz 音频正好满屏显示5个波形）。在显示7 kHz 以上的信号时，虽然波形会出现“混叠”，但调制度的测量并不受影响。图7里显示的是一个500 多Hz 的三角波包络。

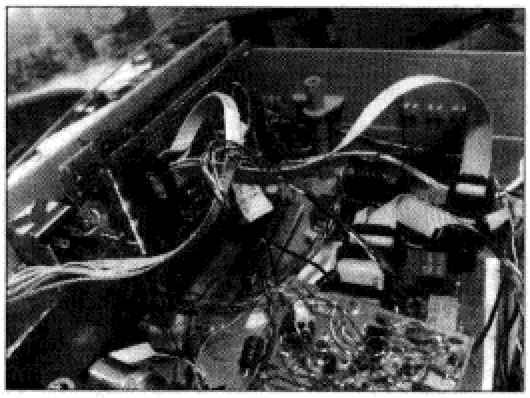


图10 内部图

至此，我的扫频仪总算可以说是完工了。图8、图9分别是它的结构框图、主控部分的电路图，图10是这台DIY的扫频仪的内部电路，呵呵，很热闹。其他各部分的图纸和全部的程序源码（是完全的源码，包括12864 液晶屏、AD9851、MB1507 的驱动都是源码）可以到杂志的网站（www.radio.com.cn）去下载。

软件

软件的编译环境为CodeVisionAVR 1.2.5 ，其中的SweepGenerator.prj 为

主控MCU 的工程文件，时钟为内部1MHz（建议改为外部4MHz 晶振），SweepGenerator_s.prj 为显示控制MCU的工程文件，时钟为内部4MHz，烧写芯片的熔丝位时要注意。

在软件设计方面，为实现双MCU协同工作，我设计了一套三字节指令系统，第一字节是一大写的字母，表示指令的名称，后两个字节拼成一个整数，表示指令的数值，用来向显示控制MCU 传递扫描起始频率、终止频率、扫描位置、当前频率、当前模式、当前刻度等信息。我在制作两个MCU 的板子时，各留了一个ISP 插座，方便随时更改程序，同时将SPI 通信要用到的“SS”端接到了插座的一个空脚上，而SPI 通信所需的其他信号端（MISO、MOSI、CLK）均已在ISP插座上出现。

在线编程结束后，用排线将两个ISP 插座连接好，就构成了两个MCU间的SPI 通信总线，两者间的数据传递则靠前面说的三字节指令实现。因为信号源是由DDS 和PLL 构成，频率扫描方面软件处理得很简单，就是设定好起止频率后逐点设置，这样就彻底省掉了频标电路，因为它的频率刻度完全线性，而且直接可读。

这种方法对DDS 来说没有任何问题，但用于PLL 时则会在很多时候出现明显可察的频率抖动。但好在我们是业余爱好者，这样的抖动完全可以用我们自己的“人工智能”来消除。

用附件测量电感时，由MCU I 控制DDS 自500kHz 起至60MHz 进行对数步进扫频，每步频率增加1/64。MCU II 则跟踪每次扫频步进，找到输出幅度最大的点,即为被测电感与100pF 电容的谐振频点，以此算出电感值。

这个扫频仪的主要技术指标如下：

1. 扫频范围：I，0～60MHz，II，60～150MHz，III，150～270MHz，IV，270～500MHz。
2. 输出电平：I、II，0～-5dBm，III、IV，-5～-10dBm。
3. 输出衰减：0～50dB，10dB 步进。
4. 输出阻抗：50Ω 。
5. 输入通道灵敏度：250～2500mV（满刻度）。
6. 频率测量范围：1～60MHz。

使用

这台自制的扫频仪的使用方法与其他扫频仪并无不同。机器通电后，开关 Km（见主控板电路）切至“图示”方式。在测量调谐回路或者滤波器电路时，如果电路的输出要求接 50Ω 匹配阻抗时，应接功率计探头并将电位器 W1（见显示控制电路）调至最上端(此时的输出满度为 2500mV)。如果是要求高阻抗的在线测量时，最好接检波头，并调节 W1，使显示的曲线处在屏幕的合适位置。屏幕下方显示的数字依次为：扫描起始频率、每格频宽、扫描终止频率，单位均为 MHz。每波段的初始扫描频宽为该波段的全程频率范围，按钮开关 SB3、SB4 用于调节起始频率、SB1、SB2 用于调节终止频率。按钮每按一下的频率步进根据当前的扫频宽度，由软件自行确定，频宽越大时步进也越大。这种方式可以保证用最少的按键最快地设定到指定的频率范围。不同频段间的切换需在该频段处于全程频率范围时进行，同时按住 SB1、SB2 向高频段切换，同时按住 SB3、SB4 则向低频段切换。开关 SB5 是用来切换显示屏 Y 轴的刻度的，按压它可依次切换至：一、线性刻度，以 0 ～ 2500mV 表示；二、平方律刻度，显示为 0 ～ 100，用于接二极管检波头；三、四均为分贝刻度，显示为 -40 ～ 0dBm 和 -60 ～ +20dBm，用于接功率计探头。

扫频仪在HAM 们手中最重要的功能大概就是测天线了，但这个扫频仪的

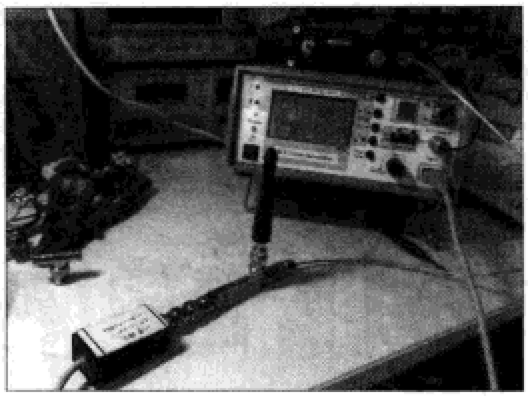


图11 测试UHF手台天线

输出功率不是很大，尤其是在III、IV 波段，再加上反射电桥的损耗，想用于测天线就很费劲了。我只得又为它做了一个外置的带ALC（自动电平控制）的功放，最大输出可达10dBm。虽然它工作得非常尽职，但局限于当时手上的元件，其放大部分的设计并不完善，本文中我就不再介绍它的电路图，待以后我做了更好的电路后再说。图11中显示的是测试一个UHF 手台天线。

图中扫频仪身上背的“黑锅”就是带ALC 的功放，下面是功率计探头和一个简单的反射电桥（里面只有3个电阻和1个平衡-不平衡转换器）。如果使用AD8307 做的反射电桥，可以不用功率计配合，并且灵敏度和准确度都会高许多，当然显示的天线频率特性波形也会更漂亮。

制作这个扫频仪的过程虽然漫长，对我来说却充满乐趣，有幸在《无线电》杂志上写出我的这些心路历程与读者们共同分享，我倍感欣慰。这台扫频仪目前已经成了我最核心的测量工具，一个对我来说真正的射频万用表。它的故事其实还远远没有完，因为有了它辅助，我的300MHz频谱分析仪终于可以开工了。

注：我为扫频仪另外还制作两个微波附件，一个是可以工作到4GHz 的功率计探头（-35～+6dBm），另一个是最高工作频率达8GHz 的256 分频器（与机内频率计协同工作），有读者感兴趣的话可以通过stanana@sina.com与我交流）。

◎聆听

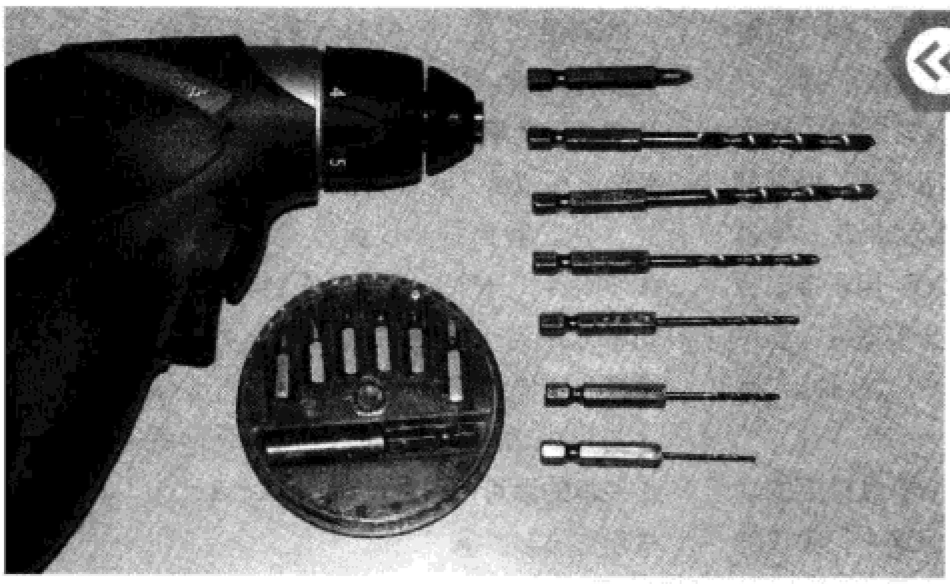
让电动工具成为你的DIY利器

电动工具是指以电力为动力的工具，与传统手动工具相比，其工作效率大大提高，在相当程度上减轻了操作者的劳动强度，优化了操作流程，提高了施工品质。方便、省时、省力、高效是电动工具的特点。电动工具不是工厂和专业技工的专利，不少小型电动工具已经走进我们的家庭，成为我们DIY的利器，也成为工具爱好者收藏和发烧的新宠儿。

形形色色的电动工具

电动工具是传统手动工具进化而来，所以产品涉及各个方面，常见的有电动螺丝刀、电钻、电锤、电镐、电磨、电切割机、电曲线锯、电往复锯、角磨机、电剪刀、手电刨、电动扳手、电链锯、电动直钉枪等。作为家用工具，使用得比较多的有电动螺丝刀、电钻、角磨、电曲线锯等。

电动螺丝刀的外形有直柄和枪型两大类，属于外形上的不同。高档一点的电动螺丝刀提供多挡位的扭矩限制设定，防止过度旋紧螺丝。同时，高档的电动螺丝刀的按钮开关也自带调速装置，会根据按钮按下的深度，提供不同的刀头钻速。为家用设计的电动螺丝刀会有更多的附加功能，以达到一机多用、一机多能的目的，例如在工具上增加照明功能，通过加设高亮度发光二极管，照亮工作区域，通过换用不同的批头，使电动螺丝刀既是螺丝刀又是小电钻，还附加螺丝托架和安装导槽，方便螺钉的定位和垂直拧入。



电动螺丝刀是一种由电力驱动的小功率旋具，基本功能与螺丝刀相同，可以拧紧和旋松螺钉，广泛应用在工业生产上。电动螺丝刀，也可被看成小功率低转速的电钻，内部基本机构与普通手钻类似，只是内部电机的功率很小，转速也慢很多，并不适合专业钻孔。根据应用的需要，电动螺丝刀可以更换各种规格的刀头（也称之为批头），以适合拧动不同标准的螺钉，所以电动螺丝刀很像组合螺丝刀。如果为电动螺丝刀配上专用的钻头，就成为名副其实的电钻了。不过由于电动螺丝刀电机输出功率比较小，所以只勉强适合在木板和薄金属板上钻孔。此外，一般电动螺丝刀所用钻头的尾部接口与电钻常用的直柄麻花钻不同，需要专用型号的钻头。

电动角磨机是由电力通过电机高速旋转带动切割片、角磨片、砂轮片、抛光片、钢丝轮等功能片，达到不同的切割、研磨、抛光、刷磨的功能，适合用于去毛刺/毛边、切割石材等。角磨机操作有一定的危险性，操作不当容易飞片伤人，需要有经验的人员操作，并严格遵照操作规程。

电钻是一种由电力驱动的强力旋具钻孔工具，基本原理是，电机旋转带动钻头工作，广泛应用于各种钻孔工作。电钻有台式钻和手枪钻两大形式。台钻定位较好，钻孔垂直度高，适合工件的加工。手钻使用灵活，适合在成型物品和现场钻孔。电钻按工作类型分为普通钻和冲击钻。普通钻仅仅具有旋转的功能，适合在不是十分坚硬的木制和薄金属表面钻孔。冲击钻则在普通电钻的基础上增加了一个冲击装置，利用齿轮相互跳动来提供冲击效果，虽然单次冲击力并不大，但由于冲击频率高（一般可达每分钟4次），可以产生持续的力，这对钻一些坚硬的表面很有帮助，例如混凝土质地的表面。有些冲击钻上有选择挡位，可以设定是否使用冲击功能。

电锤也是一种由电力驱动的强力冲击旋具，具有钻孔和破碎功能，其外观上看上去给人大功率冲击钻的感觉。电锤同样是通过冲击力增强钻孔的能力，电锤的传动结构与冲击钻不同，是通过一个类似活塞的往复活动装置产生冲击力。电锤的单次冲击力比冲击钻大得多。虽然频率较低，但电锤在混凝土墙面和石材上钻孔仍比冲击钻省力得多。在大多专业墙面上钻孔安装膨胀螺丝，都会首选电锤，而且一般电锤可以使用的钻头直径也比较大。

电镐是一种由电力驱动的强力冲击工具，与电锤冲击钻不同的是，电镐并不是用于钻孔，主要用于破碎功能。电镐的冲击力要大于电锤，一般单次冲击力可达几十焦耳。大家一定看到过路政地面维修使用风镐来开掘水泥地面，其实它们是一样用途的工具，只是风镐使用压缩空气作为动力。电镐一般用于拆墙、打碎混凝土墙面和地面，属于专业工具，一般家庭用不到。

电往复锯是由电力驱动电机通过曲柄连杆机构传动，使锯条实现往复运动，并通过翘板机构实现锯条摆动运动。往复锯具备传统刀锯的功能，由于电驱动锯条的往复频率远大于手动锯条推拉速度，所以往复锯较传统手锯快捷省力得多。往复锯配合不同的锯条可应用于切割各种材料，常见的是用来切割木板、树枝、纸板、PVC/PP管材等。

其他更为专业的电动工具，一般家庭用户和业余爱好者很少使用，在此就不多做介绍了。

电动螺丝刀适合工厂安装流水线使用，也适合家庭应用。电动螺丝刀的旋转速度远远高于人工操作螺丝刀的旋转速度，这也意味着装配流水线能大大提升工作效率。在家庭应用中，除了成为上面提到的集螺丝刀和电钻于一身的多面手外，如果你习惯使用电动螺丝刀，你会发现，在木板上拧入一颗自攻螺丝原来是那么容易的一件事，使用电动螺丝刀绝对能事半功倍。

带导轨的电动螺丝刀

市场上也有一类具有电钻甚至冲击钻功能的产品，它们是以电钻为主力配置，顺带提供电动螺丝刀功能，所以输出功率要比纯电动螺丝刀大得多，同时体积也会比较大，与小型电钻相仿。

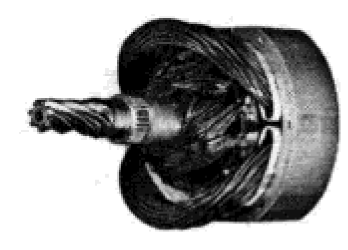
有的朋友抱怨使用电动螺丝刀容易破坏螺丝的刀槽，其实这并不是电动螺丝刀的过错。首先，需要使用与螺丝相同规格的刀头，确保刀头与螺丝刀槽完全吻合，保证作用力的完美传递。其次，要正确操作电动螺丝刀，刀头要充分稳妥地与螺丝刀槽接触，启动电动螺丝刀要由慢转快，刀头打滑要及时停止，遇到已经锈死的螺丝要先做松锈处理，不要光靠螺丝刀扭力硬来。另外，大部分容易磨损刀槽的螺丝本身品质不佳，包括刀槽的精度和材料的刚性，现在市场上论斤卖的劣质螺丝太多了，很多产品的材质都太“软”了，即便是小心使用手动工具旋动，多旋几次，螺丝刀槽就会明显磨损。相反，要是真的高品质的不锈钢螺丝，要想让它磨损都难。

充电电动工具

电动工具，顾名思义，其能量来源于电力。根据电源类型的不同，电动工具可以分为带线电动工具和充电工具。带线电动工具一般直接使用交流市电，根据世界各地供电标准不同，主要有110V和220V两大电压标准。使用交流市电的工具具有电力充沛、即插即用的优点。对于一些大功率的电动工具，电池提供的能量有限，必须是交流市电直接供电的。这类工具的缺点是有一条供电线尾巴，且需要附近的市电供应。在野外或者附近没有市电插座的地方多少有些不便，比如你在家里的院子或房顶操作，就需要很长的拖线板。充电工具最大的优点就是没有供电线的束缚，使用灵活，充电工具本身没有对市电电压的直接依赖，只是有些充电器有110V/220V之分，在不同市电标准地区使用，只需增配一个对应电压的充电器即可。其缺点是电池供电功率有限，通常只能用于中低功率的电动工具。由于加入了电池和充电器，所以充电工具要比同功能、档次的电动工具价格贵不少。此外，电池有个充电和放电的过程，所以一块电池不能连续工作，即使是快速充电也需要一定时间。电池的使用费用也比较高，如果配2块电池轮流使用，成本更高，而且电池老化问题客观存在，会缩短电池单次使用时间，存在周期性更换原装电池带来的花销问题，综合使用成本较高。

充电电动工具常用的充电电池有镍镉/镍氢和锂电池两大类，镍镉电池适合大电流放电，在低温下放电特性较好，但存在容量低和容易产生记忆效应的问题。镍氢电池虽然大电流放电性能略逊于镍镉电池，但电池容量大，记忆效应相对较弱，这使得镍氢电池逐渐替代镍镉电池。锂电池是近年来出现的一种新型电池，特性与传统镍镉/镍氢电池不同，其优点是单位体积电容量大，重量轻，且没有记忆效应，几乎可以做到随充随用。由此，锂电池近年来广泛应用于新款的充电工具上，用户也反映良好。不过锂电池的低温性能不太好，如果用户经常要在冰天雪地的环境中工作，最好实践确认一下锂电池工具在低温环境下的性能。现在，运用锂电池能源已成为充电工具的一种档次标志，受到很多用户的追捧。

高品质电动工具是如何制成的



电机

第一，也是最主要的部分，需要有品质优秀的电机，电机是大部分电动工具的核心。高品质的电机工作噪声低、输出功率大，提供高扭矩，工作稳定性强、抗过载能力强。不要小看电机内部，转子、定子、线圈、小型强力电机学问大了。劣质的手枪钻，连续运转十多分钟，机器里已经可以隐约闻到焦糊味道，优质产品连续运转30分钟都没事儿。便宜的电机烧坏是常有的事。

第二，要有良好的传动机构，包括电钻里的变速机构、冲击产生机构、扭力设定机构、夹头。良好的传动机构，精度高，公差间距小，工作起来振动和噪声都较小，高品质的机件经久耐用。很多电动工具使用一段时间后出现噪声变大、振动加剧等问题，不少都是因为机件磨损所致。高性能的自锁夹头，无论大小、直径，钻头一样稳定夹持，同时可以确保良好的同轴性。现在很流行自锁夹头，不再像以前那样还需要专门的拆卸钥匙了。

第三，科学的外观设计。产品的外观设计除了美观外，更多的是为了实际性能的提升，一个简单的功能可能都是贴心的设计。整体外形设计适于把握操控，将人体工程学融入外形设计，同样是传统枪型外形依然有很多可改进之处，包括某些设计可以减少操作者的意外。采用软硬适中的橡胶握把，或者采用复合材料，可以缓冲和吸收部分振动。副把手设计有利于加强对工具的控制。科学的风道设计有利于电机散热，并增强稳定性。大开关按钮设计适合带手套操作的用户。对于发烧友来说，高品质的电动工具从内到外都是一件机械艺术品。

电动工具内部结构

第四，真材实料由内而外。电动工具除了有高品质的内部机件，外壳也很重要。作为工具，少不了碰撞跌落，高性能的外壳软中带硬，坚固耐用。很多就算报废的国际品牌的电动工具，外壳上的字标磨损得几乎不可见了，但外壳都基本没有破损。在外行人看来都是“塑料”的外壳，但实际材料的运用，诸如PC、ABS、PA、增强尼龙等，学问多了，成本和性能也相差很多。

第五，充电工具的电池性能很重要。高品质的充电工具要搭配高品质的充电电池和充电器。电池是充电工具的能源保障，很多充电工具都因为电池问题出现动力不足和工作时间缩短的遗憾场面。优质的电池内阻小，性能稳定，适于短时大电流输出。经过电芯筛选配对的电池块，内部电芯一致性好，容量稳定，寿命长。科学设计的电池块除了确保电容量外，更在安全性上做了充分考虑，内置过热保护、过流保护，锂电池的过压、欠压保护一应俱全，电池外壳也都采用阻燃材料，将安全风险降到最低。充电工具为了提高工作效率，常常搭配快速大电流充电器。快速充电需要对电池进行有效监控，提供精确的充满/自停功能，并对可能发生的意外提供一定的保护（如过热、充电时间过长等）。

第六，电动工具配件品质不容忽视。配件是电动工具工作整体的一部分，只有同样高品质的配件才能确保电动工具性能的正常发挥。对于电动螺丝刀和电钻，螺丝刀的刀头（批头）和钻头的品质会影响电动工具的整体性能。由于电动工具很多工作在高速状态下，所以对配件性能要求更高。电动螺丝刀的刀头磨损要比普通手动的螺丝刀厉害得多，所以高品质批头多采用铬钼钒钢材料制成，经济一些的采用铬钒钢材质，铬钼钒钢和铬钒钢材料在手动工具中也都只有高档产品才使用。高品质、高性能的钻头不容易钝，钻孔也比较顺利。

批头套装

发烧电动工具

同手动工具一样，大部分工具发烧友首选发烧的也是德国电动工具，不过现在很多国内销售的德国大品牌电动工具不少都在中国大陆或者中国台湾生产，真正“MADE in Germany”的不多了。发烧友对工具的原产地是十分看重的。此外，一些在国内名气大的品牌的电动工具都有大量仿冒假货，既有外观粗糙的廉价货，也有外观可以乱真的高仿产品。由于大部分工具发烧友是个人爱好者，并不从事工具行业或一线加工，所以几乎没有对比正货的机会，往往容易买到假货。所以，在正规工具销售渠道购买工具才能保证行货正品，比如百安居，就提供很多国际大品牌的工具，有时百安居清仓打折，往往会吸引众多工具发烧友前去扫货淘宝。

国内常规电动工具最有名的三大品牌是博世（BO-SCH）、得伟（DEWALT）和麦太保（metabo）都是德国品牌，喜利得（hilti）、百得（BLACK&DECKER），牧田（日本makita）、日立（日本HITACHI）也是口碑很好的国外品牌，都属于国际一线品牌。

博世（BOSCH）的电动工具品种很多，凭借广告效应，知名度极高，很多人都把BOSCH品牌作为高端电动工具的代名词。博世以其电钻系列的产品在电动工具中最为出名。博世的售后服务也很好，赢得了众多的回头客和良好的口碑。不过，博世名气太大，所以仿冒产品众多。

得伟（DEWALT）的产品相对好些，可以乱真的精仿货比较少，metabo也是假货不多。DEWALT品牌专注于专业电动工具，其统一的黄色外观非常醒目，品质也非常过硬，广泛应用于各种专业施工场合。Metabo具有悠久的工具制造历史，属于老牌的德国电动工具，很多产品在外观上都有与众不同的革新设计，使用起来手感很好。如果有的发烧友嫌发烧BOSCH品牌工具过于俗套（市场上真假博世工具加在一起实在太常见了），那么metabo品牌是不错的选择。

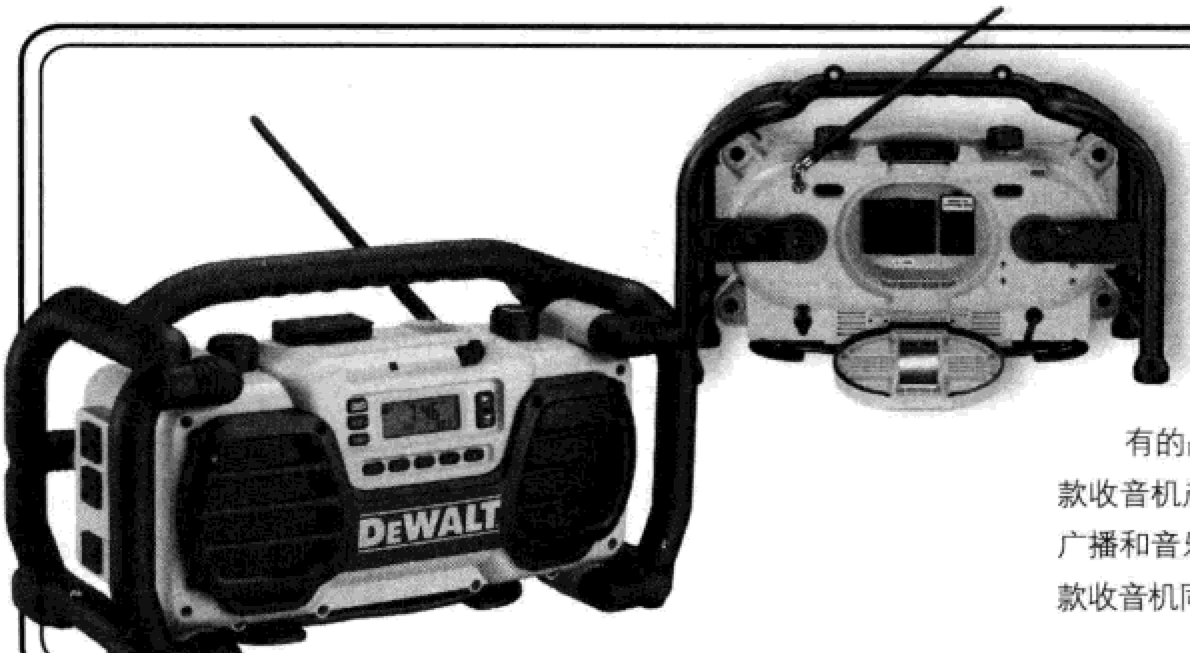
居家一般最实用的电动工具是电钻，家具或者墙上钻个孔都用得到，其功用也是普通手动工具不可替代的。近年来，新款的电钻很多都是多合一的，即普通电钻、电动螺丝刀、冲击钻三合一，通过电钻上的切换器来选择工作模式，这样能实现一钻多能。这类产品往往是以一种工作模式为主，附加提供其他工作模式，拓展工作范围，不过有些拓展模式功能会弱些，但满足家庭应用应该完全够了。

通常，同类功能产品中会有不同功率的型号供选择，专业用户选择功率大一点的产品，操作起来会更顺手些。对于充电工具电池，电压标准也有不同，通常使用电压较高的充电工具的输出功率也比较大。

很多工具发烧友喜欢网购，在网上可以比较的商家多，而且价格会比正规工具实体店便宜一些，不过我们发现一些商家在拼价格的时候耍小花招。例如，有的名牌工具可以网上登记或者查询序列号，所以主机不容易假冒，为了降低成本，商家将随主机一起提供的附件包括钻头、手柄、标尺、塑料外箱等换成仿品，这样就能降低成本，而且非专业用户在真伪查询时不容易发现其中蹊跷（专业客户一般不会单件购买或者网购，防伪查询一般只针对主机）。也有的商家将套装拆开卖，看上去单次购买的费用是低一些，但如果你分次配齐套装的其他工具和部件，实际花钱可能更多。

由于高端电动工具价格比较贵，一些工具发烧友会把目光转向二手市场，很多国外淘汰的二手电动工具价格不到国内行货的20%，且很少有假货。不过要真正买到好的二手电动工具并不容易。国外成批报废淘汰的电动工具大多原先都是专业施工队所用，工作强度大，磨损厉害，不少都已经损坏或者接近损坏，这些工具进入国内，经过二手商的拼装（取报废工具中还能用的部件凑在一起）和改装后，作为二手工具出售，少数磨损少、性能好的工具二手商早就把它们挑出来去卖高价了。很多非专业的工具爱好者只看工具外观成色，并不了解电动工具内部机件成色。一些严重磨损的电机和齿轮，配上一个新一点的外壳，就能在网上当七八成新的二手原装工具出售，有不少买家还以为买到了便宜货。好在大部分业余用户对工具真正的使用率极低，所以工具不至于短时期内彻底损坏。

二手市场上有很多廉价的国外110V电动工具，110V改220V，通过外置变压器最为简单，但由于电动工具功率大，高功率的变压器成本很高，所以一般采用重绕线圈的直接改法，线圈重绕得好不好以及使用的线材都会影响电机的性能。很多二手充电工具的随机原装电池也近乎报废，二手商使用低成本的二手电池维持最低工作要求，用不了一年半载就会每况愈下，直至彻底报废。所以，选购二手进口工具最好找懂行的人士指点，买到表里如一的工具。二手市场上的工具也是一分价钱一分货。如果不是发烧国际品牌，国内有些优质电动工具性能也还是不错的，价格也实惠。



有的品牌电动工具的人性化设计还体现在这款收音机产品上，不仅让我们在使用工具时能有广播和音乐的陪伴，还充分挖掘产品性能，让这款收音机同时成为电工工具的电池充电器。

业余电台仪器实战系列 4

◎杨法（BD4AA）

直流稳压电源使用攻略

常见的直流稳压电源通常是将220V的交流市电转换成用电器所需要的低压直流电。在一些特殊的应用中，也有升压作用的高压输出稳压电源，不过在业余电台相关应用中非常罕见。根据不同的应用需要，按照电源的功能和特性，直流稳压电源通常分为固定输出电压型的系统供电电源、可调稳压电源、可编程电源、恒流源、电压校准参考源等。随着科技的发展，电源的结构形式和控制电路不断更新，高频开关电路和智能化数控成为电源的发展方向。

直流稳压电源的应用与意义

直流稳压电源最基本的应用遍布于我们的生活中。笔记本电脑、MP3以及很多数码产品的电源充电器都属于稳压电源，大部分电子产品的外置电源也是稳压电源。业余电台爱好者必备的、为家中固定电台供电的13.8V电源更是典型的稳压电源。直流稳压电源为我们使用电台提供了一个稳定的低压直流源。

直流稳压电源是实验室和维修领域最常用的基础仪器。稳压电源为用电器和电路提供可靠的电源供应。在维修中，常常通过替代电器自身的供电单元（常称替代法）缩小故障范围，同时利用稳压电源监视用电设备的工作电流，与正常值做比较，以及时发现电路短路、断路等异常故障，对电路故障的判断很有帮助。例如，对于一台不能开机的手持对讲机，一般检修的第一步是卸下对讲机电池，通过维修电源为对讲机供电，然后看对讲机的电流变化。如果对讲机可以正常开机工作，则重点怀疑电池组供电和接触点的问题，如果对讲机开机没有反应，回路中没有电流，那么首先怀疑对讲机内部供电电路的问题，诸如内部保险丝是否烧毁等，然后再按顺序检查开关和稳压电路。在没有功率计的情况下，有经验的HAM可以通过发射时对讲机消耗电流的大小来大致判断输出功率的水平，以及射频功放电路是否工作正常。

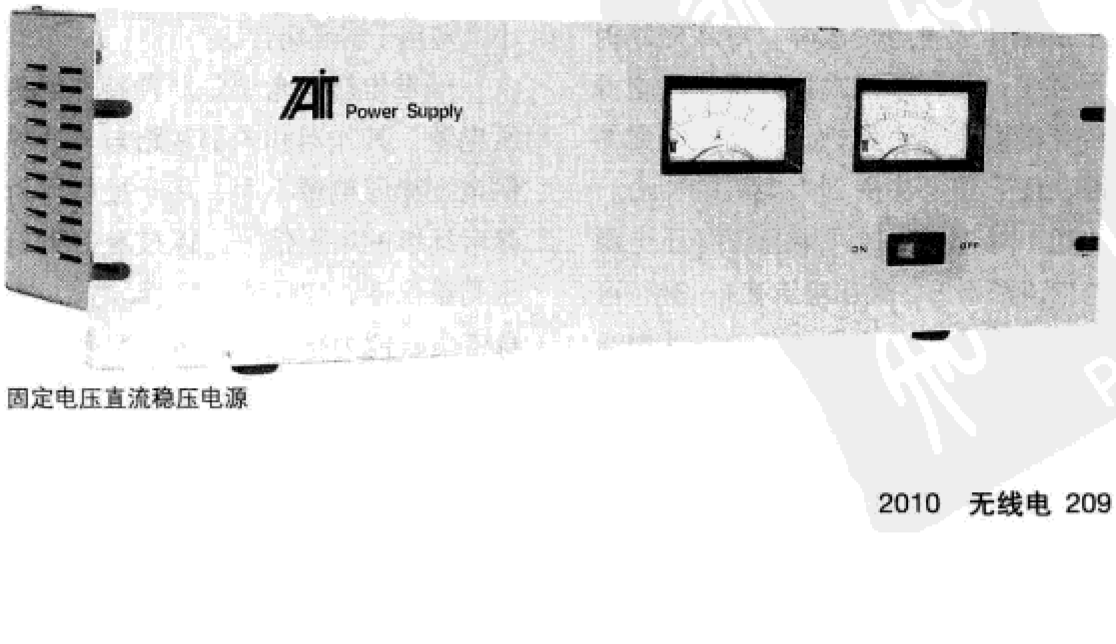
在电子产品的研发和检测上，可调稳压电源应用广泛，它可以替代电池供电，并模拟各种供电状况，包括过压、欠压、标准电压等。有些高端的稳压电源还能模拟电池的内阻工作，为产品研发提供更接近实战的实验数据。例如，用户需要修改手持对讲机的低电压告警阀值，那就需要通过软件修改对讲机内部设定的工程参数，然后通过可调稳压电源模拟欠压状态，来确认低压告警的确切数值。例如，测量车载对讲机的发射功率，需要使用稳压电源来替代汽车电瓶供电，使供电电压稳定，以避免因为电瓶充电饱和程度及新旧程度不同而出现的电压高低变化，从而避免影响测试数据。

直流稳压电源的意义在于可以替代电池提供稳定、可控的直流电源，其输出的电压稳定程度要优于普通电池。稳压电源输出电压易于控制，可满足各种应用的需要。通常，用于实验和维修的稳压电源都安装有电压和电流表指示装置，以实时监控电源输出状态，使用起来比临时用万用表测量供电电压和电流方便实用得多。不少多功能的稳压电源还具备恒流源功能、电压跟踪功能、可调过流保护功能等，进一步扩展了稳压电源的应用。

形形色色的直流稳压电源

根据应用需求的不同，直流稳压电源分为各类特性不同的电源产品。

系统直流电源主要针对低压用



固定电压直流稳压电源

电器供电设计，通常功能简单，输出功率大，输出电流也比较大（从几安培到几十安培），能为多个用电器供电，满足较大功耗的用电负荷。能长期连续工作、工作稳定是这类电源设计的重点，输出电压的漂移和电压调节精细度则不是重点。对于一些专用的基础型系统电源往往是固定电压型的，在电源操作面板上并不提供电压调节功能，甚至有的专用系统直流电源不提供监控输出电压的电表，业余电台爱好者使用最多的电台电源就属于此类电源。有的产品为了迎合用户的口味，都在基础型电源上添加了电压表和电流表，使得电源看上去更高科技一些，同时也方便监视电源输出状况。对于一些高端的系统直流电源，使用了单片机控制和液晶显示，设置电压可以通过键盘数字化输入，有些功能和指标几乎赶上可编程电源了。

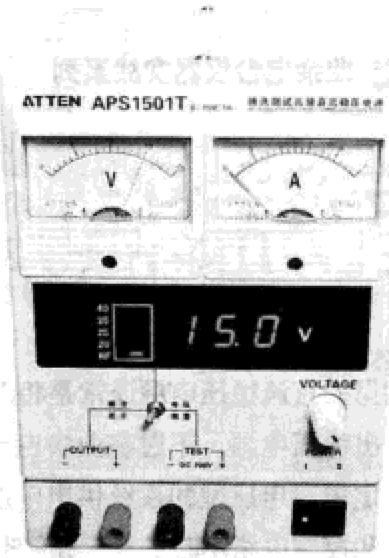
输出电压可调是可调直流稳压电源最大的特点。由于电压可调，适用的范围就更广了，广泛应用在实验室和维修场合，所以也被称为“维修电源”、“实验电源”。实际中，用于实验室和维修应用的产品会增加更多附加实用功能，如可调限流功能、跟踪功能等。限流功能比较实用，它可以设定稳压电源输出的最大电流，当电流输出超过设定值时，电压会下跌，但电流不会继续增加，类似进入恒流模式。有的电源提供过流保护功能，一旦电流超过预定值就进入保护状态，切断输出，需要重新启动电源才能恢复输出。在实验和维修中，由于误操作或者电路故障，导致短路时有发生，利用限流功能既保护了电源自身的安全，也保护了电路上的元器件，使它们不会受到大电流的冲击。一般市场上常见的可调直流稳压电源的电流都不大，输出电流在1～3A，可以满足普通数码产品和移动电话类通信产品的维修和实验需要。

多路可调直流稳压电源是可调稳压电源的一种，其特点是一台电源提供两路甚至三四路可以独立设定电压的输出，基本上可以看成几台单路输出的电源合并使用，适用于需要多种电压供电的场合。高级一点的多路电源还具有电压跟踪功能，使几路输出能联动调节。

精密可调直流稳压电源是可调稳压电源的一种，其特点是电压、电流调节分辨率高，电压设定精度优于0.01V。为了精确显示电压，目前主流的精密电源都采用多位数字表指示。电压和限流精密调节机构的解决方案不同，低成本的解决方案采用粗调和细调两个电位器，标准解决方案则采用多圈电位器，高档电源则采用单片机控制的数字化设定。采用单片机控制的稳压电源也被称为数控电源，通过数控方式更容易实现精密调节与设定。精密直流稳压电源内部线路也比较先进，电压稳定性也比较好，自身电压漂移小，通常适用于精密实验场合。精密直流稳压电源是国内的称呼，国外进口电源基本没有标称精密电源，只有高分辨率电源和可编程电源。

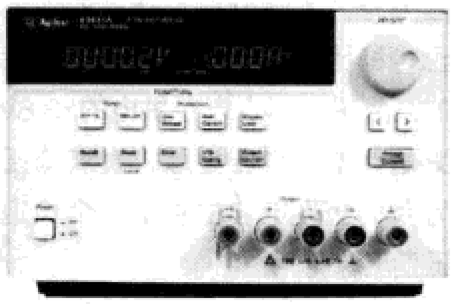
可编程电源是用单片机以数字化形式控制的可调稳压电源，其设定的参数可以存储起来供日后调用。可编程电源设定的参数比较多，包括基本的电压设定、功率限制设定、过流设定以及扩展的过压设定等信息。通常可编程电源具有较高的设定分辨率，电压和电流参数的设定都可以通过数字键盘输入。中高档的可编程电源自身电压漂移也很小，多用于科研场合。

标准电压参考源是一种特殊的稳压电源，其作用和内部线路与普通的供电型稳压电源不同，用于提供作为参考标准的电压信号，以校准各类电压测量仪器（电压表、万用表），本身带负载能力很低，但电压准确度很高，漂移极小。



可调直流稳压电源

多路直流稳压电源


高分辨率数控电源

电压校准源

可编程电源

开关电源VS线性电源

目前实现直流稳压的线路有两大类型，一类是传统的以变压器为降压核心、附加稳压线路的线性电源，一类是时下流行的以工作于开关状态的电子电路构成的开关电源。这两种类型的电源各有自己的优、缺点。线性电源的优点是纹波容易控制，线路简单，易于维修。缺点是体积笨重，需要用到变压器和大容量电容，转换效率不高。开关电源的优点是体积小、重量轻、转换效率可以做得比较高、不需要使用昂贵的变压器和大容量电容。缺点是电路结构比较复杂，维修困难，不可避免地存在开关频率干扰，纹波比较难控制。目前随着开关电源技术的成熟和金属铜价的节节攀升（制作变压器需要耗费大量的铜线），传统线性电源的成本优势越来越小，大电流输出的开关电源的价格优势越来越明显。现在很多数码产品和电子产品所配套的小型外置电源都渐渐换成了轻便的开关电源。

对于业余电台爱好者来说，选用电源除了能保证足够的低压直流电供应外，还需要保持很低的纹波和高频干扰，不能让电源对短波无线电信号接收造成实质性的干扰。传统变压器线性电源的特点正好满足这方面的需要，所以很多老HAM都推荐传统的线性电源。不过现在的通信开关电源通过滤波和屏蔽等措施，早就能有效抑制干扰，达到通信电源的标准。很多电台的原厂配套电源和内置电源都采用开关电源，所以专门为通信设计的开关电源一样能用于短波通信。实践证明，超短波U/V波段对讲机对电源的要求不高，一些用二手计算机开关电源改制的电源也可以很好地为车载对讲机供电。此外，开关电源的保护电路设计得比较周到，包括过压、过流保护和内部故障检测。内部如果出现故障，则停止输出，以防损坏用电设备，而如果普通线性稳压电源没有特别附加线路，其调整管被击穿短路后，很容易输出高电压。不少HAM都有线性电源的扩流管故障导致电压升高而损坏电台的惨痛经历。

区分开关电源与线性电源比较简单，除了产品说明外，看看电源内部有没有大体积的变压器就知道了。线性电源主变压器体积大、份量重，往往占据整个电源的大部分空间，开关电源使用的变压器则小得多。相同功率输出等级的开关电源的重量要远比线性电源轻得多。

开关电源是电源发展的方向。正规的优质开关电源应该符合EMC标准，虽然设计成本会高些，但EMI受到有效抑制。除了对纹波要求极高的用户可考虑选购线性电源外，对于普通应用，开关电源应该是更好的选择。

纹波是标志直流电源性能的重要参数，知名大厂家都会如实提供技术数据，可以此作为横向比较。用户也可以通过示波器方便地自行测量直流电源的纹波电压。需要注意的是，通常同一个电源在不同负荷下的纹波是不同的，一般测量纹波都是在满负载情况下。在实际测试和应用中，纹波是允许存在的，只要符合标准、不过大就行。其实，无论是线性电源还是开关电源都必然存在纹波，只是大小不同而已。通过各种手段也只是尽量抑制并不能彻底消除纹波，真正零纹波的直流电源只有电池才能提供。

常规使用方法

直流可调稳压电源的使用比较简单，主要操作是对电源进行对应的设定。本文以具有代表性的KIKUSUI（菊水）PMC 18-2A直流可调稳压电源为例说明可调稳压的使用。

第一步，电源连接。将稳压电源连接上市电。

第二步，开启电源。在不接负载的情况下，按下电源总开关（power），然后开启电源直流输出开关（output），使电源正常输出工作（一些简单的可调稳压电源只有总电源开关，没有独立的直流输出开关）。此时，电源数字指示表头上即显示出当前工作电压和输出电流。

第三步，设置输出电压。通过调节电压设定旋钮，使数字电压表显示出目标电压，完成电压设定。对于有可调限流功能的电源，有两套调节系统分别调节电压和限流，PMC 18-2A 就是这样。调节时要分清楚，一般调节电压的电位器有“VOLTAGE”字样，调节限流的电位器有“CURRENT”字样。由于PMC 18-2A 采用多圈电位器，所以采用了单电压调节旋钮。很多入门级产品使用低成本的粗调/细调双旋钮设定，遇到双调节旋钮，我们先将细调旋钮旋到中间位置，然后通过粗调旋钮设定大致电压，再用细调旋钮精确修正。

第四步，设置限流电流。按下电源面板上“Limit”键不放，此时电流表会显示限流数值，调节限流旋钮，使限流数值达到预定水平。一般限流可设定在常用最高电流的120%。有的电源没有限流专用调节键，用户需要按照说明书要求短路输出端，然后根据短路电流配合限流旋钮设定限流水平。简易型的可调稳压电源没有限流

菊水稳压电源

设定功能，也没有对应的旋钮。

第五步，设定过压保护 OVP。过压设定是指在电源自身可调电压范围内进一步限定一个上限电压，以免误操作时电源输出过高电压。一般，过压可以设置为平时最高工作电压的 120%水平。过压设定需要用到一字螺丝刀，调节面板内凹的电位器，这也是一种防止误动的设计。PMC 18-2A 设定 OVP 电压时，先将电源工作电压调节到目标过压点上，然后慢慢调节 OVP 电位器，使电源保护恰好动作，此时 OVP 即告设定完成。然后，关闭电源，调低工作电压，就能正常工作了。设定工作电压参考上文中第三步。不同的电源设置，OVP 方式不同。例如，菊水 PAK 系列电源就有专门的 OVP 设定键，按下 OVP 键即显示最高限压，用户可以快速检查限压数值和调节限压水平。对于一些入门级的电源则没有 OVP 功能。

第六步，通信接口参数设置和遥控操作的设置。对于本地控制的应用（面板操作）要关闭遥控操作。通信接口要按通信要求设定，本地应用则不需设置。

品牌与选购

选择直流稳压电源主要从输出电压、输出电流、附加功能、电气性能等方面综合考虑。

输出电压必须达到用电设备的需要。对于固定电压供电的系统，不一定苛求电源具备电压调节功能，有时电压调节功能误操作会使电源输出过高的电压，导致用电设备损毁。例如，为常规固定电台供电的稳压电源，调压功能就不是必需的，能恒定提供13.8V电压就行。对于实验和维修应用的电源，具备电压可调功能可以适用更多的应用需要。通常，电压调节范围越大的电源，价格也越高，支持输出的电流也越小，所以电源调节范围基本够用就行。用于维修数码产品和通信产品的可调稳压电源支持1～15V调压范围就基本够用了，如果你需要使用24V电压，那么1～30V调压范围的产品比较适合。

输出电流是稳压电源为负载供电能力的标志。稳压电源的输出电流应该大于实际最大工作电流。例如，维修小型数码产品和移动电话，一般支持输出1A电流的稳压电源就够用了。维修手持对讲机，则最好配备能输出3A的稳压电源。目前，主流手持对讲机高功率发射电流在2A左右，市场上很多稳压电源输出电流最大只有2A，实际使用起来就会捉襟见肘。对于维修笔记本电脑的用户，则需要配备5A左右的稳压电源，因为笔记本外部电源的工作电流大多在2.5～4A。为车载电台供电需要配备10～12A的稳压电源，大功率的车台发射时耗电为8～10A。为100W级的短波电台供电需要配备20A的稳压电源，一般短波电台全功率发射时需要16～18A电流。

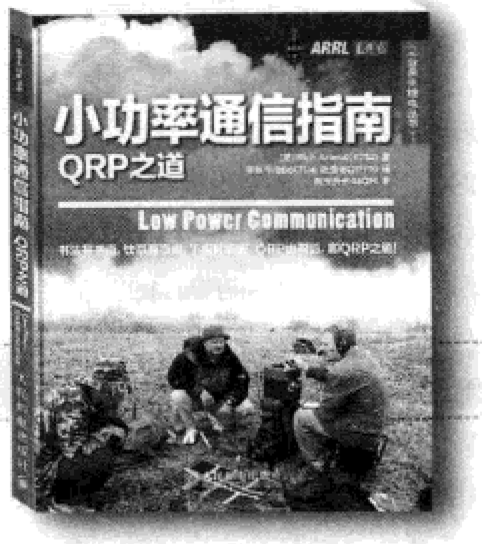
选择输出电流大一些、功率余量大一些的电源是不错，不过同档次等级产品中，电流越大，价格也越高，同时体积和重量也会越大。需要注意的是，有的可调稳压电源在不同电压段输出的最大电流限制不同，以输出总功率表示，功率除以电压就是最大工作电流。另外，有的稳压电源标称最大输出电流有瞬时最大电流和连续输出最大电流之分。

数字表头和指针表头指示各有优点，数字表头读数直观方便，指针表头指示变化的电流量比较符合传统习惯。由于数字表头比指针表头成本高，所以对于只需大致指示固定电压值，稳压电源则多采用廉价的指针表头。对于需要比较精确地调整电压的可调稳压电源，现在多采用数字表头，有的高档稳压电源还内置高分辨率的数字电压表，用于测量显示。尽管分辨率较高的稳压电源显示通常会使用位数较多的数字表头，但数字表头的显示位数与稳压电源的分辨率、稳定性及自身电压漂移水平并没有必然的联系。

稳压电源的保护功能确保电源自身和用电设备的安全，常见的保护功能有过流保护、过压保护、高温保护。对于可调实验电源，可调节的过流保护、过压保护可以减小误操作给电路故障带来的危害。对于输出功率大一些的电源，很多产品都用风扇强制散热，这样不但可以提高散热效率，还可以大大节省大面积的金属散热片。风扇的工作噪声和寿命成为用户关注的问题，除了使用低噪声、低转速、大风量的风扇外，采用温控电路是目前较多采用的方法。高档一点的电源利用温度控制风扇转速（当然不是简单的靠温度继电器启停风扇），以达到散热效率和噪声的最佳平衡点。对于中小功率的稳压电源，很多中档以上产品都使用大面积的散热片而避免使用风扇，这样虽然成本高一些，但能避免风扇噪声、寿命、积灰等一系列问题。

高端应用和特殊应用往往需要用到稳压电源的特别功能，诸如有的稳压电源支持多台并联以增加输出电流，有的稳压电源支持多台串联以提高输出电压，有的多路稳压电源提供电压跟踪功能，有的稳压电源提供GPIB或RS232通信接口和遥控功能。高端应用除了稳压电源功能外，会对电源的性能提出更高的要求，诸如低纹波、低噪声、高速负载瞬变响应、低温度漂移等。

我们应该根据实际应用需要来选择电源的档次和定位类型。为电台等设备供电，采用普通系统电源即可，同样输出功能等级的精密可调电源价格会高得多。用于维修的场合，可调稳压电源为首选，具备调压和限流调节的基本功能就够用，如果采用高端的实验室级



QRP之道

——写在《小功率通信指南——QRP之道》出版之时

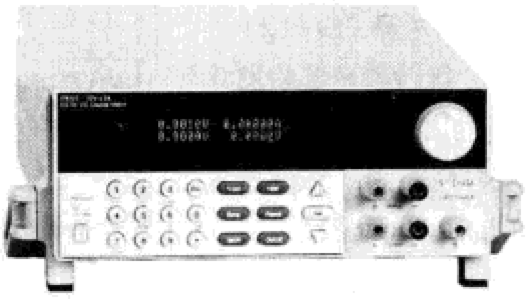
◎阮东升（BA6QH）

QRP在Q简语里意为降低发信机功率，在业余无线电领域，通常是指使用最高不超过5W的射频功率来进行通信。QRP通信作为业余无线电的一个分支，在国内外拥有众多忠实的粉丝。有调查表明，随着互联网的迅速普及，全球HAM有老龄化的趋势，HAM数量也在逐年下降，但即便如此，各种QRP爱好者俱乐部却在成指数增长，许多爱好者不仅接受并且加入了这种符合当今低碳环保潮流的操作队伍。每年6月最后一个周末的户外活动日，世界各地的QRPer（小功率通信操作者）带着帐篷以及各种成品或者自己DIY的小功率电台，远离市电，利用各种环保电能进行着户外通联活动。

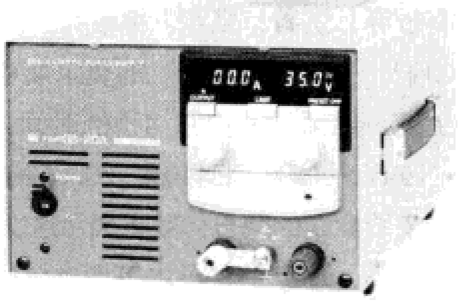
在国内业余无线电界，7.023MHz作为CW乐园，已经广为人知，许多CW的初学者及老手闲暇之余都会来此QSO，以此提高技艺，广交朋友。由于CW这种模式非常适合于QRP的操作，现在这个CW乐园里已经有许多朋友开始尝试使用QRP功率进行通信操作，并且不少火腿在这个频率上用QRP通联到了巴西、美国等许多DX远距离电台。

随着CW爱好者人数的增加，乐园里有时感觉很拥挤，因此，有爱好者建议开辟新的频点21.123MHz供大家使用。笔者认为这是一个很好的建议，首先从法规上看，15m波段的21.100～21.200MHz这段频率允许持三级操作证书的爱好者使用。其次，这段频率也是国际上约定俗成的供CW新手

Agilent E3640A电源



ITECH IT6122可编程电源



菊水PAN系列电源

电源，虽然基本功能相同，但价格上就不划算了。高端电源的高性能和通信联机功能对于维修并无明显的帮助。高端实验室配套的电源除了基本的调压功能外，对电源的纹波和噪声以及响应速度都有较高的要求，以满足高端测试和复杂应用的需要。

市场上提供的高端直流稳压电源品牌很多，在国内实验室用得比较多的国外品牌有KIKUSUI菊水（日本）、Agilent/HP（美国）、LAMBDA（日本）。KIKUSUI PAN-A系列是高可靠性电源，具有低噪声快速过渡响应的特点，同时设计有多重安全保护措施，产品系列中有多种输出电压、电流规格的产品，广泛应用于高端实验室，作为功率型直流稳压电源。

Agilent的E3600系列提供了优异的电源调整率和负载调整率以及极低的噪声，同时E3600系列具有基本的可编程功能和很好的操控界面,方便精确设定，广泛应用于中高端研发实验室,作为高精度电源。

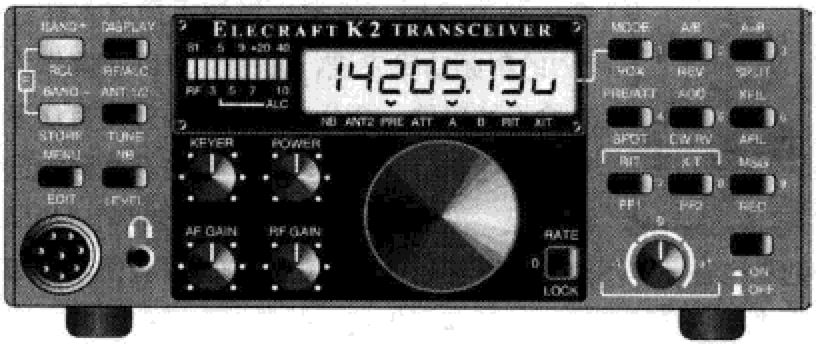
此外,CHROMA、TAKASAGO（高砂）、KEITHLEY、KENWOOD也是性能很好的品牌。国内的艾德克斯（ITECH）、固纬、TOPWARD（托福）的产品性能也不错，可以跻身中高档电源之列。ITECH和固纬有不少数控电源、可编程电源产品，国内生产线和大中院校基础实验室选用较多的有固纬和TOPWARD（托福）的多路电源产品，价格适当，口碑很好。

扬中科泰、中策有不少价廉物美的实用级可调稳压电源，广泛应用于大学教学实验室以及维修场合。

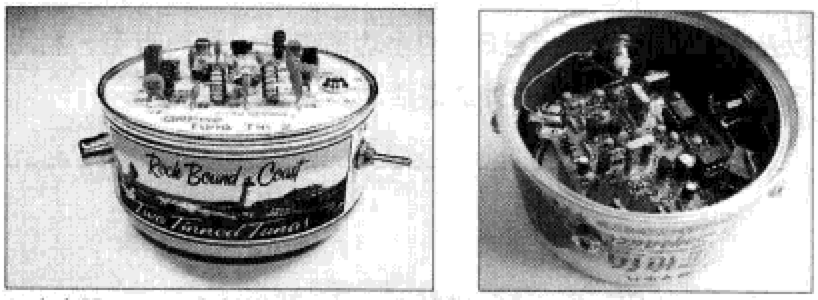
使用的频率，在周末，21.150MHz附近可以听到有慢速的CW QSO，而一些老手也时常到这个频率上使用慢速CW与新手做通联。笔者清晰地记得，1999年到朱天赋（BA6QB）老前辈家“蹭台”时，在21.135MHz频点上呼叫CQ，接连与捷克、日本、德国、阿根廷等地的电台做了QSO，并收到QSL确认卡。最后，15m波段的天线相对于40m波段的天线而言，不仅小巧，而且架设容易，有利于居住环境不佳的爱好者架设使用。而高波段的传播近来也有加强之势，不像前几年传播低谷时期的一片寂静，南方的爱好者到了夜间很晚的时间，在15m波段上还能与欧洲、非洲的电台QSO。

当然，15m波段的传播越距现象比较严重，临近省份比较难听到。某日下午，笔者用FT-817在频率上胡乱搜索，结果在21.123MHz听到了北京BA1GN呼叫CQ，立即回答，得到了559的信号报告，继续搜索，隐隐约约听到有电台在呼叫CQ，仔细辨别，原来是FK8IL（新喀里多尼亚）。对于这个太平洋上的字头，笔者以前用QRP曾经有过通联且QSL卡也已经获得，因此并不着急接收，打算先听听，等信号上来一点再说。时间在一分一秒的流逝，他的信号越来越好，而回答的电台也越来越多，形成了堆积（pile up）。笔者在此期间回答了几次，都没有成功。在听他信号最好的时候，没想到听他发出了一连串的“QRT QRT 73 73……”，频率立刻安静下来，而此时的笔者想到了“QRP修炼秘笈”中提到的兰迪（AA2U）用QRP通联C21（瑙鲁）的经历。此时，笔者没有放弃，沉着、坚定、缓慢而有节奏地发出了两遍“BA6QH/QRP、 BA6QH/QRP”的莫尔斯电码讯号，等待着奇迹的发生……停顿了大约3、4秒的时间，奇迹真的出现了！只听到“BA6QH/QRP DE FK8IL，UR 599 DE FK8IL FK8IL”，依然是橡皮图章式的回答，我完成了这次美妙的QRP DX的通联，瞬间之后，乌克兰、日本等地电台的强大信号立刻铺天盖地袭来，但FK8IL没有回答任何一个呼叫。虽然笔者不追求QRP的波段系数分，但QRP的DX通联总是令人兴奋的。

IC-703



ELECRAFT K2



日本火腿JE2LPC自制的7MHz 100mw TX“沙丁鱼罐头”以及BD4RG用国产改进版Rock-Mite套件所做的“金枪鱼罐头”

看到这里，读者朋友肯定会问：难道QRP还有什么与众不同的修炼秘笈吗？不错，美国火腿里奇.阿兰德（K7SZ）所著的《Low Power Communication》一书（中译本《小功率通信指南—QRP之道》）正是这样一本“秘笈”。感谢译者荣新华（BD6CR/4）先生的信任，在本书出版发行前将译稿给我先睹为快。该书的作者是一位有着丰富业余无线电经历、著述颇多且对涉及QRP通信的各个方面有着极深造诣的业余无线电专家。该书是他多年来从事QRP操作之心得，广采博览，集腋成裘，融会贯通，从QRP的优势、起步、设备、天线、操作策略、操作模式、传播以及应急通信与QRP等方面进行了详细的阐述。

与一般侧重于QRP电路及DIY的著作不同，它有着自己的构架与特色，并不着重于QRP电路的实际制作等，而是对QRP活动中所涉及的各个方面作了提纲携领式的讲解。如在“QRP设备”一章里，他对K1、K2、FT817、IC703等国外

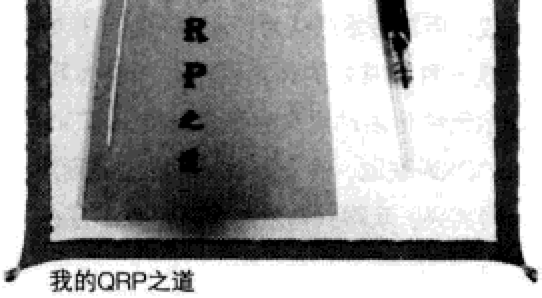
来自日本的QSL卡片

流行的各种QRP设备及套件优缺点进行了点评，引导初入此道的朋友自行选择适合自己的入门产品。这其中有对BD6CR制作的Rock-Mite（见2008年《无线电》第6期）套件的详细介绍，有对著名的“Tuna-Tin Two”套件（即“沙丁鱼罐头2号”）的点评等（特别值得一提的是，BD4RG卜宪之老师根据国情对Rock-Mite改进而推出的套件也是用金枪鱼罐头盒做的外壳）。据K7SZ说，打算在今后该书的新版中收录BD4RG开发的“黑豹”HB-1A，这让我们再一次为国人开发的QRP套件进入国际市场并获肯定而鼓掌。最近风靡国内的便携式垂直天线APC—12的来历在书中“QRP天线”的章节里也有介绍。

汶川、玉树地震的发生，让我们认识到应急通信在自然灾害发生时的作用。笔者了解到，在汶川地震发生后，国内 FT-817销量大增，许多爱好者购买它，以备不时之需。但国内关于应急通信并没有形成完整的理论体系，许多还在摸索中，而K7SZ有着丰富的应急通信经验，在“应急通信与QRP”一章中对QRP如何运用于应急通信进行了详细的阐述，最后作者得出的结论是：“应急通信+QRP=完美的结合”。因此，这一章节中可以给我们的应急通信提供许多有益的借鉴。而“老式电台、军用电台与QRP”一章介绍了美国产各种老式及军用电台，相信是各位“军机迷”所乐意阅读的。

一直以来，笔者热衷于用QRP来做DX通联，迄今为止已通联到100多个DXCC字头，并收到QSL确认卡。许多朋友在看到这样的成绩后纷纷询问，这其中是否有什么诀窍？希望笔者能介绍一下。是的，在QRP通联中确实有一些技巧，但笔者一直没有能够系统地进行总结，而当笔者看到这本书译稿后，不禁拍案叫绝。该书对QRP DX通联中的许多技巧及绝招都进行了详实的描述，而这些技巧也是笔者在平时QRP DX通联中不知不觉地都有所运用的，当然这仅仅只是这本书的一个方面。

笔者自从与QRP结缘以来，浸淫其中十数载。通过这些年来对QRP的学习实践与探索，始终有些疑惑在脑海之中，然而经过对此书深入研习之后，顿觉豁然开朗，功力骤增，


我的QRP之道

七经八脉一气贯通，不再束手束脚，所有的困惑与“魔障”也不复存在。因此，此书给笔者的感觉，就如同金庸先生武侠小说里的武功秘笈《九阴真经》，让我对QRP的内涵与精髓有了更加深入的理解与认识。

笔者认为，QRP的内涵就是精细。相对于常见的100W电台，QRPer面对的是13dB的劣势，这就要求我们对于各个环节，如传播的认识、天馈系统安排、操作与通联技巧的掌握等方面都要做到精益求精、细致入微，不断实践（修行），在不知不觉中你的各方面技能都会得到提高。

QRP的精髓就是平和。 QRP的操作其实就是对操作者心性的一种磨练，韧性与耐心是一名合格QRPer所必须具备的基本素质。通过长期的QRP实践，笔者在实际通联中已经具备了一颗非常平静的心态，每当与一个DX电台成功完成QRP的通联后，内心里充满了巨大的满足与幸福感，这种幸福与满足的感觉也只有真正的QRPer才能体会到。

本书原来所用的副标题是“QRP的艺术与科学”，但笔者在仔细阅读全书后，感觉使用“QRP之道”似乎更为妥切。此处的“道”包含两层含义：一是道路，QRP活动应该顺着什么样的道路走下去；二是将QRP作为QRPer追求之道。许多多年从事业余无线电活动的朋友希望从玩业余无线电上获得精神层次的飞跃，而不仅仅只是为玩而玩。

修身、齐家、治国、平天下本是中国古人所一直倡导并身体力行的修为。延伸到我们业余无线电领域，是不是能将我们的这种爱好上升到一种对“道”的追求、对自身人格的完善，而不仅仅只停留在“文化”这一层次呢？如同书法有书道、饮茶有茶道、下棋有棋道一般，将QRP作为具有东方特色的“道”来追求、来修行，似乎更符合东方人的特点。

对莫尔斯电码的深入掌握、对传播规律的深入了解、对天线理论与实践的深入学习以及对各种QRP电路的制作与使用等均是QRPer应该掌握的修炼之法。

诚如BG7JAC朋友所言，“QRP是一种低调而中庸的操作方式（非指人），处强权不惧，处乱世不惊，以己之技游刃当中，只求殊途同归，不争一日长短，向此发展，或者可以养性、或者可以去戾”。对此，笔者十分赞同。而真正要上升到对QRP之道的追求，最为关键之处还是要通过学习、使用QRP，来磨练我们的韧劲与耐心，平和我们浮躁的心态，最终达到心境平和，与人为善，与自然和谐！

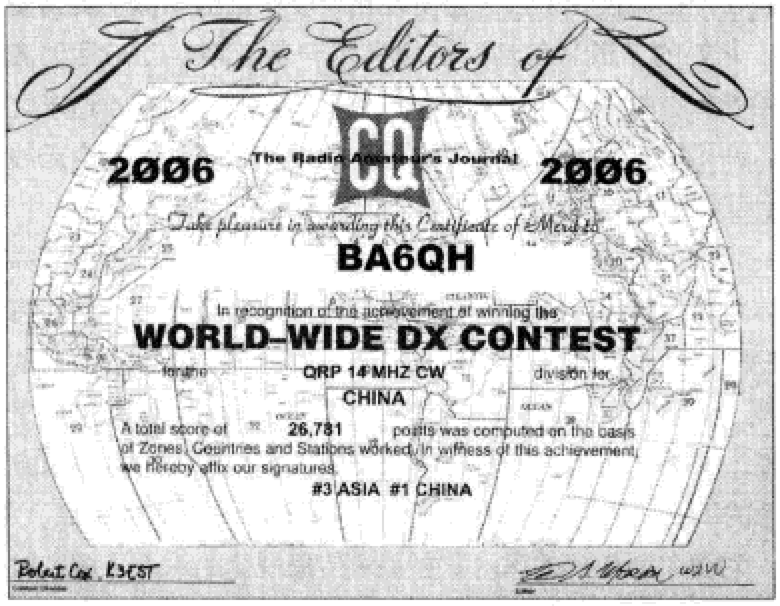
《小功率通信指南—QRP之道》称得上是QRPer床头必备的“圣经”，但如何读好它，并将其运用于自身的QRP实践活动中，却是有所讲究的。笔者在本书尚未出版之时即将其打印装订成册 ，置于案头，时时翻阅。孔子读易，韦编三绝，作为一名有进取心的QRPer，也应该有这样的精神。下文也附上我的QRP体验。

我的QRP体验

也许是东西方文化的差异，笔者平时所听到、看到的国内火腿朋友对QRP活动中的一些问题在本书中并没有涉及，因此，笔者罗列了国内一些对QRP活动的观点，谈谈自己的看法，欢迎各位HAM朋友批评指正。

观点一：在参加比赛时，呼号后面必须加/QRP，否则不能算作QRP组别。

2005年底，笔者与BA6QA一起到位于武汉近郊的九峰山设台参加CQ WW CW比赛，当时，我们带的都是FT-817，分别参加20m/15mQRP组别的比赛，但对于是否在呼号后面加/QRP有过争议，后来还是香港HAM在网上回复说不用加，参加哪个组别完全是由火腿个人诚信所决定。真是一语道醒梦中人啊！诚信是一个合格HAM所应具备的基本素质，在QRP活动中更是如此。2006年底，笔者独自一人回乡下老家再一次参加这一组别比赛并获得奖状。



笔者获得的CQ WW CW比赛奖状

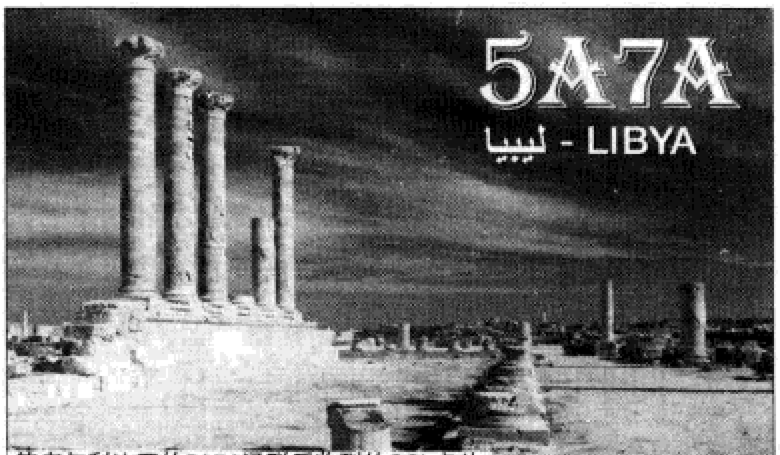
观点二：在与对方通联时发送的呼号后面加了/QRP，但是对方在回答的时候没有加/QRP，或者收到的卡片上对方也没有在我的呼号后加/QRP，我的这次QRP通联无效。

前不久，笔者收到几张3B8/SP2JMB寄来的QSL卡，这是波兰火腿到位于非洲东海岸毛里求斯3B8处做的个人远征，当时在QSO时，笔者在呼号后面加了/QRP，查询对方网上日志，也可以看到确认的是BA6QH/QRP，但从寄来的卡片上可以看到，手写的没有加/QRP，而用电脑打印的则有 。类似这样的情形，笔者遇到过多次，我很赞同网上一位朋友所说的话：QRP更多是一种怡然自得的境界，追求的是那种QRP所带来的乐趣，而不是什么沽名钓誉的东西，寄来的卡片带/QRP更好，不带也无所谓，因为我们享受了当初那一刻带来的激情。

观点三：我使用100W，但是依然报/QRP，对方也不会知道我的功率大小，用了也不说，我也是QRP。

现在国内抱有这样观点的朋友不在少数，有许多朋友不相信QRP能够有什么作为，一直以一种怀疑的眼光在看待QRP活动。也许是国内外文化的差异所致，对于用大功率冒充QRP的做法，在国外QRPer看来简直是不可思议的事情。在QRP活动中，他们无论在探讨技术或者通联的时候，都是基于“最小输出在5W以下”这个最基本的前提。一个真正的QRPer，不仅使用小功率来享受QRP QSO带来的乐趣，而且骨灰级的QRPer还会千方百计地尝试使用更小的Power来增强挑战性，并已有火腿取得惊人成绩。但这本来不是问题的问题却在国内出现了，依笔者看来，这不仅仅只是一个诚信的问题，只能说明持有这种观点的或者真正这样做了的人，不是一个真正的QRPer，体会不到QRP的内涵与精髓。

2006年底，利比亚的5A7A这一稀有字头出现在天空，经过数天的追逐，笔者终于在一天早上以7MHz的频率用大功率完成通联。在继续收听中，笔者发现他的信号越来越好，于是尝试用QRP来呼叫，没想到居然也能够得到回应。随着与这个非洲电台QRP通联的完成，我终于达成了7MHz单波段的WAC。通联完成后，笔者感觉心跳加速，血压急剧上升，赶紧起身在家里走了数个来回，才慢慢平静下来。这种感觉想必只有真正的QRPer才能体会得到。现在，每当笔者翻看5A7A的QSL卡片时，依然能回忆起这令人心潮澎湃的时刻。



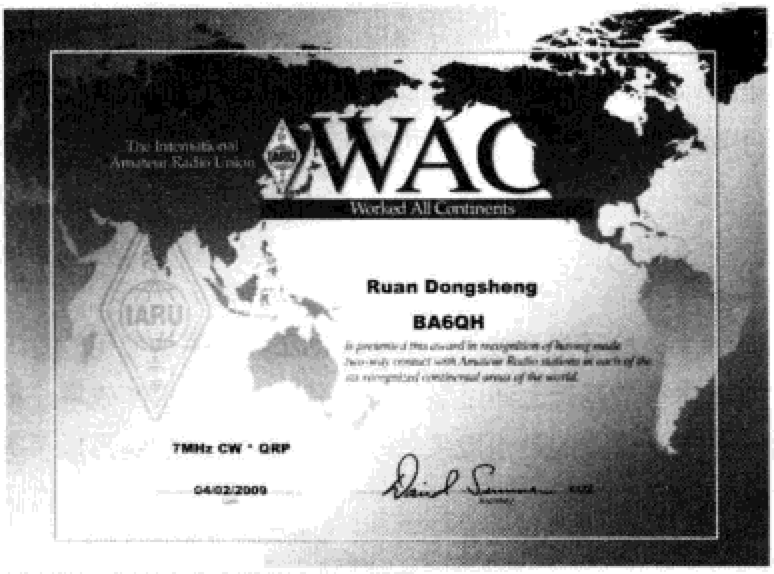
笔者与利比亚的5A7A通联后收到的QSL卡片

观点四：现在都是使用八木天线、功放、计算机等设备，以完成高速通联，QRP已经不时兴了。

不错，现在人们生活节奏加快，电磁环境日趋恶劣，所以很多爱好者都在追求顶级设备、大功率、八木天线等，以保证通联可靠地完成。但笔者始终认为，业余无线电在如今生活、工作等压力下，是一种非常好的休闲活动，能够为我们释放这些压力，而在业余无线电活动里又有许多分支，有DIY焊机派，有追求稀有字头的DX通联派，有专做CW的，有聊天侃大山嚼碎布的等，怎么玩得高兴、玩得兴奋就怎么玩，并不存在“时兴”与否之说，而且QRP通联带给人的特殊感受是QRO所体会不到的。

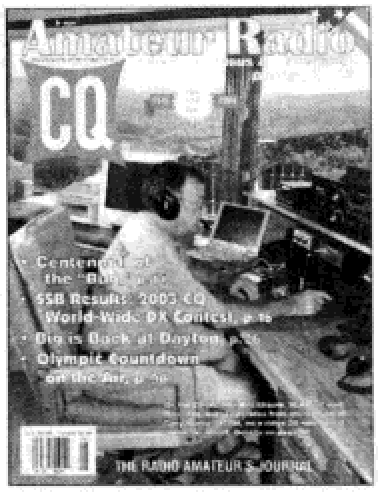
观点五：QRPer只能使用自制的或者专业的QRP机器，那怕你用100W的设备把功率调到5W使用也不是QRPer。

笔者在2008年DIY成功40m收发机 “夜鹰” 后，无论是日常通联还是比赛都在使用。迄今为止，已经用其通联了近70个DXCC字头，并取得7MHz单波段WAC QRP奖状。诚然，使用自制的QRP设备做QSO有着无穷的乐趣，但刚入门的朋友将100W的设备调到5W使用，没有一点问题。初学者可以先体会一下QRP是否适合于自己，QRP活动所限定的只是输出功率在5W以下。其实，很多成品100W的设备，厂家宣传还特别加上一条：最小输出5W（或者更低），适合QRPer使用。从JA1KGW寄来的卡片上可以看到，他是将TS-120V这样的机器后面加上ATT来降低输出功率的。而日本著名QRP操作者JA6PA的电台室里，不仅有QRP设备，也同样拥有成品的高级设备。



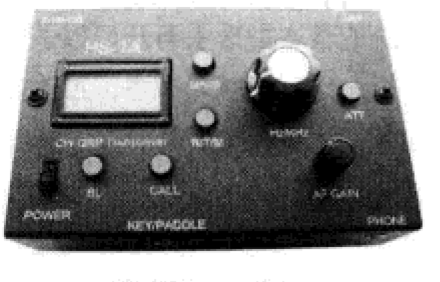
笔者获得的7MHz单波段WAC QRP奖状

观点六：QRP是很好玩，但我不会CW，因此我不能玩，也玩不好QRP。



QRP高手N0KE菲尔先生

毋庸讳言，CW的操作方式在QRP通联中的确可以带给我们事半功倍的效果，但除了CW外，其余的操作模式是不是就不能运用于QRP通联中呢？答案是否定的。国内HAM界的青年才俊BD4WM戴丹朋友，不仅是一位艺术史博士研究生，秉承吸收中国传统文化之精髓，写得一手好字，更是一位QRP迷。在2010年5月的WPX SSB比赛中，他参加了QRP组别的比赛，并用SSB的方式通联到了远在南美的智利、阿根廷等多个国家的电台，而笔者也在年初的WPX RTTY比赛中，使用由BG5ROJ开发的一款基于DSP的便携式PSK MODEM，配合FT-817，首次用RTTY模式完成了与六大洲的RTTY QRP通联。在《小功率通信指南——QRP之道》一书中，作者还对不懂CW的爱好者给出了如何使用PSK31等特殊模式进行QRP通联的方法。

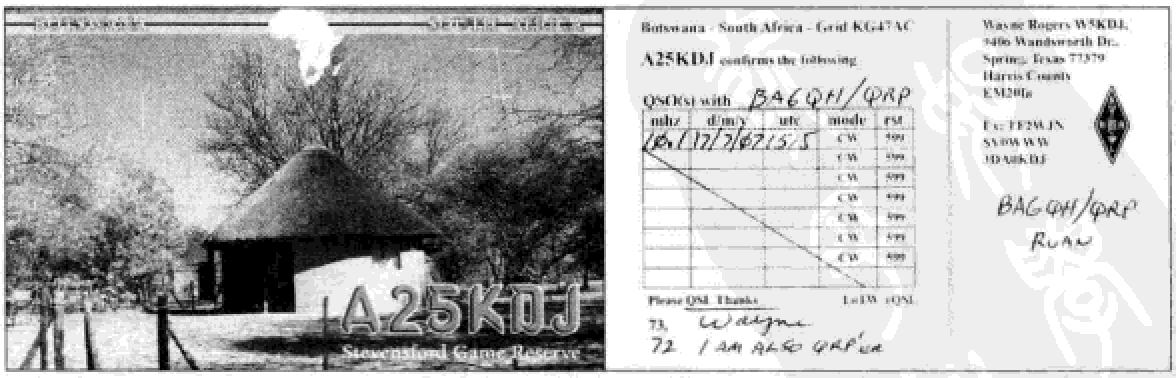


BD4RG新开发的QRP设备

非此即彼，似乎是国人固有的习惯，这也是一种执着心的体现。在笔者看来，圆融通达，顺其自然，而不执着于某一点，也是做人做事的一种态度。QRP并不是万能的，对于稀有字头的追逐用QRO能够占得先机，这点也不用否认。其实，QRP与QRO并不矛盾，笔者前不久使用正在试用阶段的HS-1A（BD4RG新开发的一款QRP设备），用该机器参加了“空中之岛”IOTA比赛。在比赛中，我通到了美国中部科罗拉多州的N0KE，这是笔者新通到的一个州，而在QRZ.COM的说明中，N0KE 菲尔先生明确表示他既喜欢QRO，也爱QRP，并且用QRP通联了318个DXCC字头。而更令人惊叹的是，在2002年5月，他与W1XE、CX6VM和W8QZA一起参加CQWW WPX QRP组比赛，一共做了3200多个QSO，击败了相当数量的高功率M / M参赛电台。这真不是一般的牛啊！

观点七：你是QRPer，你就只能用QRP工作，那怕你遇到了超级稀有的DX字头，也不准用QRO去争抢，否则你就不是QRPer。

从笔者收到的博茨瓦纳A25KDJ卡片的背面也可以看到，远征队员Wayne还特别注明了，说他本人也是一位QRPer，而他们在远征时所使用的是几百瓦功率，难道用了QRO就能否定他不是一位QRPer了吗？笔者以后有时间的话，还准备DIY一台“乌龟”，以备DX不时之需呢。



笔者收到的博茨瓦纳A25KDJ卡片

以上是笔者收集的种种关于QRP活动中出现的观点。一个真正的QRPer是不会被这些言论所左右。俗话说：师父领进门，修行在个人。

◎聆听

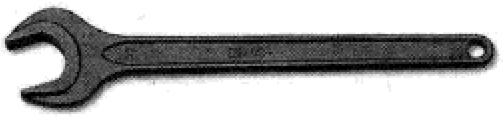
不可不说的扳手

前几期杂志中，笔者为大家介绍了与电子爱好者距离比较近的一些工具，如螺丝刀、电动工具、钳子等。本期，我要为大家介绍“扳手”。可能有读者觉得这个工具离自己的电子爱好相去甚远，可笔者觉得，对于喜欢动手 DIY 的电子爱好者，在一些电子产品外壳的制作和装配中常会用到扳手，夹持和旋转螺母、六角铜柱，遇到外六角螺栓也需要使用扳手或者套筒。如果电子制作中涉及金工和机械的部分，那扳手的用途就更多了。

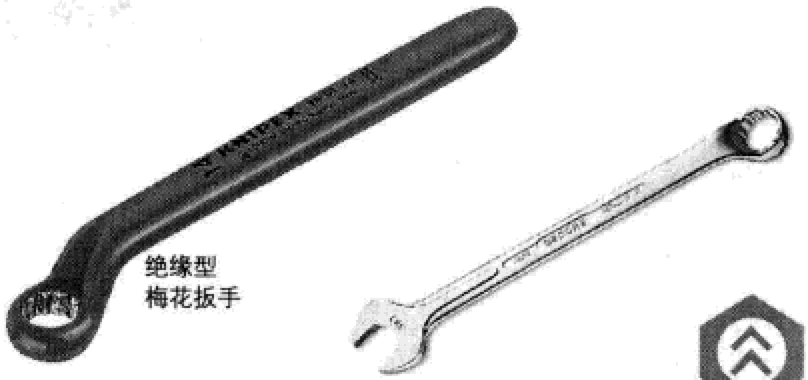
扳手是一种常见的传统手动扭力工具，它利用杠杆原理提升输出扭力来强力旋动螺栓和螺母，以达到拧紧和旋松的目的。在家庭应用中，扳手使用率不高，通常只是在遇到膨胀螺丝、U形卡箍以及修理汽车、自行车时才用得到。有时，在没有扳手的情况下，用钳子夹住螺母旋转也是一种应急的办法，用专用的扳手顺手、省力的感觉是不可替代的。在航空、船舶、铁路、车辆维修专业应用上扳手的应用面不亚于螺丝刀。

形形色色的扳手

按照动力来源，扳手有传统的手动工具扳手和电动扳手以及气动扳手。除了生产线外，一般手动工具扳手是应用的主流：传统的基本型扳手有开口扳手、梅花扳手、油管扳手、活动扳手。在基本型的基础上通过增加机械装置，提高工作效率，拓展功能，出现了棘轮扳手、预置扭矩扳手，以适应特殊工作场合需要，如重型作业的敲击扳手、厚度受限制场合的钩形扳手等。此外，还有一类是套筒扳手和内六角扳手（有时内六角扳手也算作螺丝刀系列）。



呆扳手　这是一种最基本的固定尺寸的开口扳手，也称叉扳手。由于这类扳手的开口是固定的，不同大小规格的螺栓和螺母都需要与扳手一一对应，在扳手上通常会标明开口的规格，六角或四角螺母对边的距离就是适用扳手开口的型号。整套的呆扳手会由小到大按照标准规格每个尺寸都自成一把，根据尺寸覆盖的跨度，一套扳手往往由几把到二十几把构成。对于膨胀螺丝，公制M5、M6、M8、M10、M12的螺母通常对应的扳手是8、10、14、17、19号。呆扳手虽然开口是固定的，针对性强，但结构稳定，经久耐用，实际使用起来比活动扳手顺手得多。此外根据应用的需要，还有敲击呆扳手、撬棒呆扳手、弯柄呆扳手、弯柄敲击呆扳手等系列产品。



梅花扳手　这是一种最基本的固定尺寸的套环扳手。工作套环内一般做成12角孔，正好可以卡住螺栓和螺母的六角头。有的梅花扳手将工作套环设计成可活动式，可以调节一定角度，以适合一些特殊空间的操作。梅花扳手同呆扳手一样，工作面是固定的，要一一对应不同规格，在扳手上会标明梅花套环的规格。此外，根据应用的需要，还有敲击梅花扳手、弯柄梅花扳手等系列产品。与呆扳手相比，梅花扳手虽然使用起来每次都需要套入螺母、螺栓，没有开口扳手那么方便，但具有与螺母结合良好、特别适合小空间操作的特点。正因为梅花扳手与呆扳手各具优点，所以出现了扳手两头分别是梅花和开口的两用扳手。

活动扳手 即可调节开口距的开口扳手，也被称为“活动扳手”。活动扳手的工作面有固定主工作面呆扳唇和可移动工作面活动扳唇两种。活动扳唇通过涡轮滚轴移动，达到调节扳口尺寸的目的。由于活动扳手的开口大小是连续可调的，所以适用螺母和螺栓的尺寸就很广，以前如果需要一整套的十几件呆扳手，现在用一把活动扳手就能“通吃”。活动扳手广泛应用在非专业的应用场合，在家用工具箱中，活动扳手是必备的工具之一。实际工作中，根据扳口活动的范围对应整体的长度，有多种规格的活动扳手，常见的有150mm（6寸）、200mm（8寸）、250mm（10寸）、300mm（12寸）四种规格。活动扳手适用范围广是其优点，但是活动扳口稳定性不佳，并且其外形尺寸问题会带来不少弊端，例如不能长期很好地与螺母、螺栓工作面良好结合，使用几次扳口的大小就改变了，时常需要重新设定开口大小，降低了工作效率。工作中，扳口容易变大，造成螺母、螺栓六角面磨损，作业空间要求比呆扳手大，活动机件存在脱落的隐患（有的改进型产品增加了限位设计，防止过度开大扳口，使活动扳手部件脱落）。由此，在很多专业应用场合还是倾向使用固定开口尺寸的呆扳手。

棘轮扳手 是具有棘轮装置的扳手，一般扳手都配置双向棘轮。通过棘轮装置，可以避免重复套入套环、套筒的操作，大大降低了工作强度，提高了工作效率。常见的棘轮扳手有棘轮梅花扳手和棘轮套筒扳手。

套筒扳手 套筒扳手是另外一种形式的扳手，有时也被称为“套筒起子”，其主体是由带六角孔或十二角孔的套筒与螺栓或螺母接触，通过扳手手柄传输力进行旋转工作。常见的套筒扳手外形有L形、T形和类似螺丝刀的一字形，这都是根据力矩要求而设计，在重型作业中常见L形和T形（带旋棒）套筒扳手。套筒扳手基本作用与呆扳手和梅花扳手一样，但其特点是套筒外壁比较薄，工作力以垂直方向送达，适合拧动周围工作面十分狭小和在凹陷很深处的螺栓和螺母，这些工作环境往往是开口扳手和梅花扳手力所不及的地方，诸如卡车轮轴上的螺栓和内凹设计的固定螺栓。套筒的口径是固定的，所以对于不同直径的螺栓和螺母，套筒也是一一对应的。一套传统套筒扳手也是由口径不同的单支套筒扳手构成，现在有的成套套筒，尤其是具有棘轮结构的扳手，通过更换不同规格的套筒来实现扳手的一柄（手柄）多用，并节约钢材料，降低成套工具的重量。

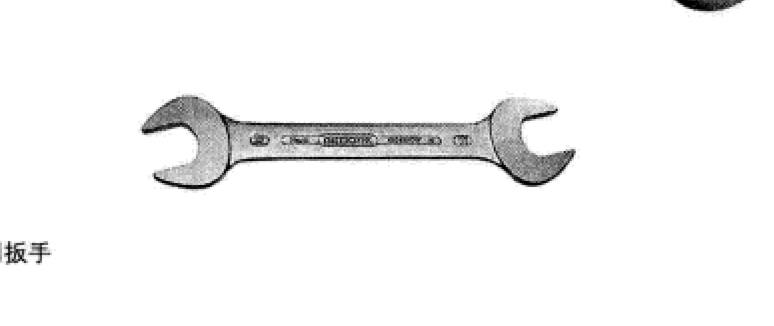
预置扭矩扳手 这类扳手的特点是可以预设扭矩值，当到达预置值时，工具会发出告警音和产生振动，提醒操作者停止施力。通常预置扭矩扳手具备棘轮头，具有棘轮扳手类似的特性。

扳手的规格

常用呆扳手和梅花扳手的规格参数主要有开口和梅花口尺寸和手柄长度，更精确的尺寸参数还包括扳手主体厚度、梅花套环深度、开口端外径宽度、梅花套环外直径、梅花套环轴向偏置角度等。

固定型扳手的开口尺寸和内六角扳手都有英制和公制两大标准以及一些非标的尺寸，这与需要旋动的螺母和螺栓的规格有关，不可代用，否则要么不能用，要么容易损坏螺栓、螺母的边角。公制以毫米为单位表示，英制以英寸为单位表示。扳手的开口尺寸都会明确地压注在工具上，方便区分和选取。扳手的长度相当于杠杆原理中的杠杆臂长，臂长越长，作用力得到的扭力越大，操作也越省力。实际工作中，有时为了得到更大的扭力，还为扳手加上加长杆（不同的扳手产品对于加长杆有限制，使用不当将损坏扳手）。不过手柄太长会占据过大的操作空间，这对一些在狭小空间内的作业不利。所以，不同厂家的产品会根据设计长度需要，选用不同的材质和设计扳手厚度，一般一套固定扳手开口从小到大，手柄长度会逐渐加长，这都与产品最大输出扭力的设计有关。

除了敲击扳手外，目前主流的固定扳手都被设计成两用扳手。一个直线形把手有两端，在最基本的单头扳手基础上，为了充分利用空间，大部分扳手都在把手的两端做上两个工作面，成为两用扳手。这种扳手较多地是将把手两端做成两种相邻尺寸的开口，以增加扳手的适用范围，减少成套工具中扳手的数量和总体重量。也有的扳手，两端做成同样开口尺寸，但开口的不同角度，以适应不同工作角度。还有一种比较流行的两用扳手是将把手两端分别做成开口和梅花套环工作面。这样，在一把扳手上集中了两类扳手的优点。高档一点的梅花套环工作面具备棘轮功能，可提高工作效率。针对一些特殊应用，市场上有各种特殊外形的扳手，如弯柄扳手、撬棒扳手等，还有针对绝缘、防爆、防磁等特殊特性要求的产品，在此就不作过多介绍。



两用扳手

高品质扳手是如何制成的

传统的呆扳手和梅花扳手的制造工艺与制造钳子类似，都是钢材通过整体锻造成形的。我们可以通过一把标准开口扳手的制造过程来了解一下高品质扳手是如何制成的。

第一步，高品质的扳手需要优质的钢材。一般廉价的扳手采用中碳钢，中高档的扳手会用到铬钒钢，高档的产品会考虑用钼钒铬钢、S2合金工具钢等，敲击扳手和重作业设计的扳手会对钢材的要求高些。同样打上CR-V标志的铬钒钢，不同钢号、成份配比的钢材，特性上还有一定差异。此外，不同厂家炼出的钢，性能上也存在一定差异，所以一些高端工具厂商，首选德国、瑞典以及日本的钢材。有的工具生产大厂，不但选择优质的钢材，还参与钢材的研发，配比出更适合特定工具特性的专用钢材。

第二步，真正制造的开始——从钢胚上切割一片适当大小的钢成为扳手的胚件。

第三步，将胚件放入高温窑炉中加热至红烫状态，然后重压成形，这就是热锻造的过程，加热过程中温度的控制和材料的控制是关键。

第四步，将初具成形的扳手进一步加热，硬化处理，提高工具的硬度和耐磨性能。

第五步，精密的磨削，使其达到准确的预定尺寸，公差控制在最小范围内。为此，很多厂家都采用数控设备来提高打磨的精度。很多高端扳手的公差都比DIN标准允许的公差小得多，精确的扳口尺寸可以确保螺母、螺栓被夹紧，扭力被有效传递，同时可确保不损坏螺母、螺栓的棱角。

第六步，全面打磨，去除毛刺，确保扳手开口面很高的平整度。

第七步，工具表面最后的镀层处理，常用的是电镀处理，兼具保护金属表面和提高产品外观品质的作用。扳手常用的表面处理有镀铬、抛光、磷化处理、发黑处理、镍铁合金复合涂镀等。

由此，一把高品质的扳手生产完成，虽然以上看似标准化的每道工艺都是公开的，但其中蕴藏着很多不传秘诀，这也与设备配置和生产成本密切相关。想想，一把卖2元的廉价14号扳手，与卖200元的顶级14号扳手，从来料到加工工艺能一样吗?

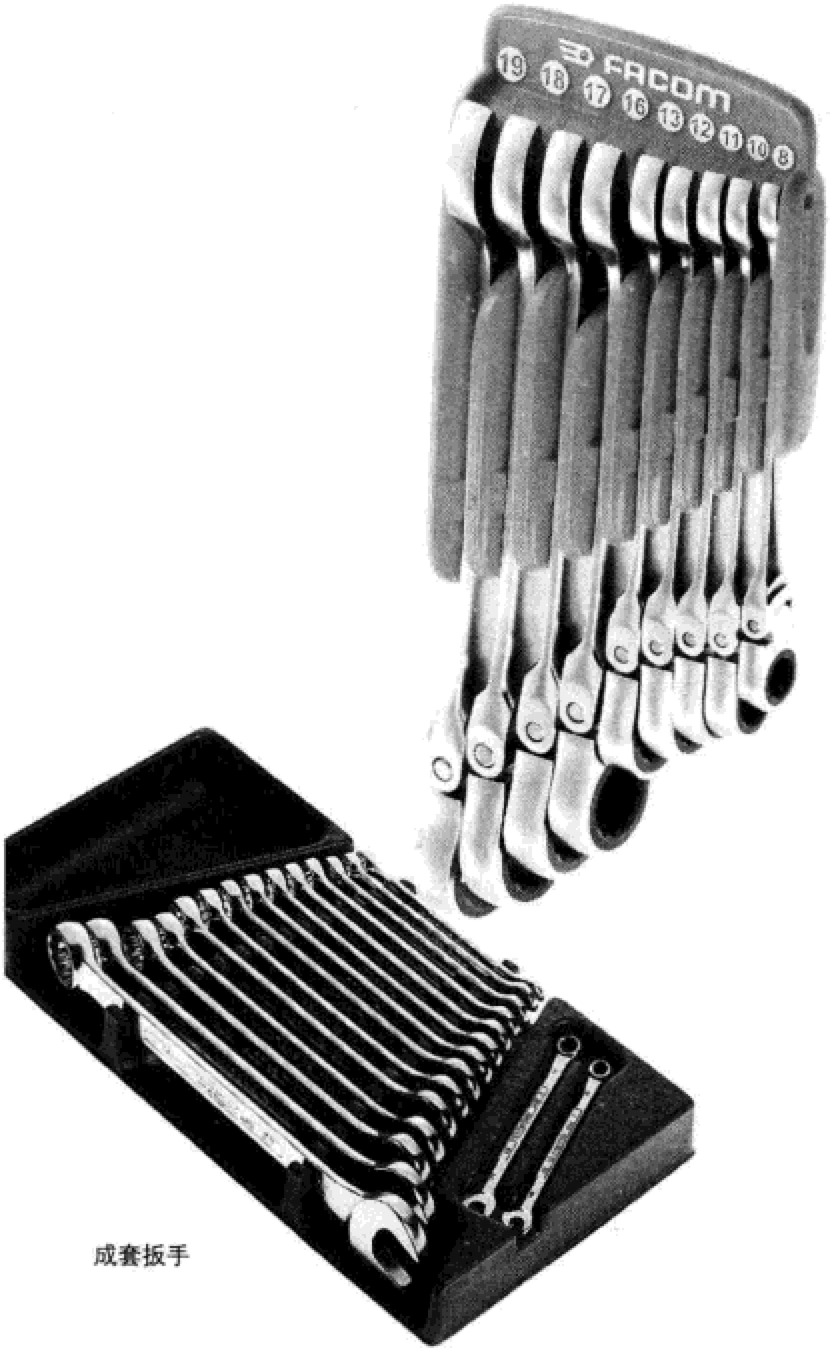
除了制造工艺，对扳手进行设计改良也能更好地使扳手发挥独到的性能。例如，改变梅花套环的角度，以适应内凹螺丝槽中的螺栓、螺母操作，加深梅花套环和开口厚度，适应高扭矩传递的需要，改良梅花套环内齿面的形状设计，使得与六角面接触面积更大，增加扭力，同时减少对螺母、螺栓棱角的磨损，操作时也不容易打滑。

由此可见，高品质的扳手除了与优质的钢材有关，还与热锻造技术、硬化处理、精密打磨、表面处理以及产品特殊改良设计有关。有的名牌扳手虽然使用铬钒钢制造，但实际使用起来，比一些号称使用 S2 材料制造的扳手更顺手、更耐磨。家庭应用时，一些廉价的扳手可能在使用中感觉不到什么异常，如果用在工业中，时间不长就会明显磨损，开口、手柄变形、梅花套环内角磨损，还容易伤到螺母、螺栓的棱角。

发烧工具扳手

对于工具发烧友，成套的顶级品牌扳手不但是有收藏价值的工具，还是很好的“摆设品”，成套的呆扳手和梅花扳手是工具发烧友收藏的最爱。整套扳手从小到大依次排开，扳手的镀铬面熠熠生辉，质感十足，确实很好看，有的产品表面处理得犹如镜面一样光亮。

业内，德国、瑞士的老牌扳手比较出名,有众多高品质的产品，这与这些地区钢材的品质和工业技术也有相当的关系。此外，美国和法国也有一些品牌的扳手，非常出名，而且有很好的外观设计。价格方面，顶级品牌的扳手优质优价，一般一把传统中等尺寸两用扳手的价格在一二百元，够得上买一套中档扳手的价钱。扭矩扳手价格更高，通常都超过2000元。此外，有很多洋品牌扳手，都已经在国内生产，在保持优良品质的基础上提供更高的性价比，成为实用型工具。对于以工具发烧收藏为主的发烧友，如果偏好产品产地，应注意工具产地标识。



成套扳手

传统手动工具扳手在业内有几个顶级品牌：

Snap-on：美国Snap-on（实耐宝）高端工具巨头，工具系列齐全分类精细，以广泛应用在要求最高的航空领域而闻名。Snap-on的扳手类产品包括成套的呆扳手、梅花扳手、活动扳手、扭力扳手、套筒扳手，该品牌的产品都属于极品的行列。

GEDORE：德国GEDORE（吉多瑞）是老牌的工具制造厂家，产品系列众多，其中扳手系列是吉多瑞主力拳头产品之一，性能和外观堪称一流，呆扳手、梅花扳手、活动扳手、扭力扳手、套筒扳手系列齐全，制造精良，也属于极品。

MATADOR：德国MATADOR是老牌的高品质工具生产商，扳手是其主力产品之一，产品性能一流，很多产品均由德国本土工厂制造。除了提供一系列标准尺寸的扳手外，还可定制各种特殊规格的扳手，其产品广泛应用于汽车制造业。

KNIPEX：德国Knipex（凯尼派克）是专业的顶级钳子生产厂家，由于扳手和钳子生产工艺类似，所以Knipex也出品一些扳手，Knipex出品的扳手类型不多，以绝缘系列呆扳手和梅花扳手为主，产品品质优秀，极其坚固耐用，堪称极品。

BAHCO：瑞典BAHCO（百固）因为商标上有一条鱼，也被称为“鱼牌”。BAHCO是老牌的工具制造厂家，产品以真材实料、性能优良闻名。BAHCO的活动扳手和呆扳手/梅花扳手在业内有很高的知名度，作为瑞典原产的工具，该品牌深受工具发烧友敬仰。

norbar：英国NORBAR（诺霸）以出品高精度扭力工具出名，其扭力扳手在业界属于高价位的极品，广泛应用于高端场合。

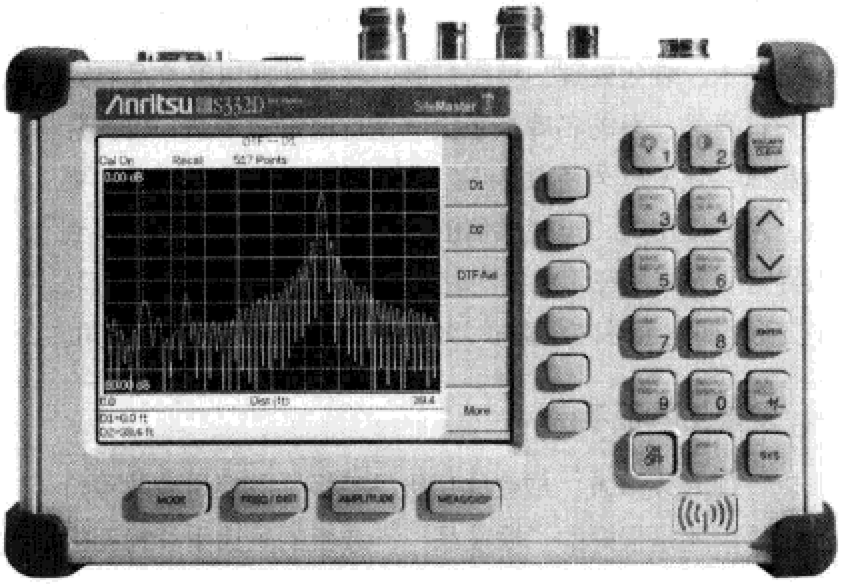
PB SWISS TOOLS：瑞士PB tools是老牌的旋具制造厂商，以优质螺丝刀出名，在扳手方面，其内六角扳手同样有名。

FACOM：FACOM和 PROTO是Stanley（史丹利）旗下高档工具品牌，原本各自也是高品质手动工具制造商，PROTO的扳手在业界向来颇有名气，有很多专业产品，产品也比较齐全，包括一些高阶和特殊的扳手。FACOM的扳手除了优良的性能外，以优雅的设计和出色的表面处理著称，是难得的收藏佳品。

业余电台仪器实战系列 5

◎杨法（BD4AAF）

天线分析仪使用攻略



天线分析仪是用来测量天线各项特性参数的仪器，有“天线万用表”的美称。随着电子制造业的发展，芯片集成化程度越来越高，功能电路的设计制造要求也越来越高，业余无线电爱好者自己DIY完整的高性能收发信机已变得困难重重，而制作天线则相对简单。无线电发展至今，收发信机的电子线路已经更新换代多次，而基本的天线形式则一直继承、保留，至今依然广泛应用在业余电台和专业电台上。

传统基础型无源天线的制作并不需要半导体电子线路，最简单的天线甚至只是一些特定长度的导线（普通电线）的组合，技术要求不高，门槛很低，即便是专业知识不多的新HAM也很容易上手制作，并可以由浅入深地逐渐试制一些比较复杂的天线。在天线的制作过程中，爱好者会体验到动手的快乐和享受最终成功的成就感，所以，自制天线成为很多业余电台爱好者继远距离通联外的又一个发展方向。在业余电台界也流传着“玩电台最后就是玩天线”的说法。天线分析仪则是制作调整天线的理想测量仪器，是业余电台爱好者中天线发烧友必备的设备。

天线分析仪的应用与意义

天线分析仪广泛应用在天线的试验开发、DIY制作、安装调试、检测维护等领域。天线分析仪之所以被誉为“天线万用表”，是因为普通的万用表只适合直流电和工频交流电的测量，不适合频率高得多的无线电波段传输的测量。

有很多HAM用普通万用表电阻挡测量市场上买回的成品车载天线，惊奇地发现，有的天线芯线与振子电阻值无穷大，呈开路状态，有的天线芯线与外壳电阻非常小，呈短路状态，还以为天线损坏了。其实不然，如果天线采用电容匹配耦合，就会出现天线芯线与振子直流开路的现象（电容是通交流、阻直流的），如果天线底部采用某些线圈匹配形式，就会出现天线芯线与外壳直流短路的现象（线圈是通直流、阻交流的）。万用表电阻测试靠的是直流电流，与天线实际工作中的高频电流完全不同，所以不能用于天线特性测量。

天线分析仪则可以模拟天线工作的高频电流，通过电桥来测量天线驻波以及阻抗情况，通过驻波比，用户可以了解天馈系统的传输匹配情况以及一些谐振型天线的谐振情况。虽然驻波比低并不代表天线效率高、增益高，但至少说明在当前频率下，测试平面的高频传输是匹配的，驻波很高则说明天馈系统一定不匹配。

天线分析仪是天线制作调试的利器。在天线试制中，理论和仿真计算数据往往由于材料等原因存在一定误差，所以天线的调试必不可少。经过调试，修正尺寸的天线才能真正达到预期目的。而天线的调试最基本的参数就是天线的驻波比，尤其是谐振型天线，在谐振状态下驻波比会很小。天线分析仪提供最基本的参数就是驻波比数据，而且绝大部分天线分析仪都可以连续地动态测量驻波比，所以调试天线时，通过天线分析仪动态监视驻波比变化，可以使工作效率倍增。通过天线分析仪监视连续频点的驻波状况，用户能方便地了解天线的工作带宽。有的高档天线分析仪还提供驻波测试曲线，其实就是通过扫描测量连续频点的对应驻波比数值而绘成的曲线图。

天线分析仪是检测、维护天线的有力工具。室外天线由于受到外界

风吹雨淋的影响，容易出现结合部件的故障，所以需要定期检测天线的状况，以确保通信效果和发射机的安全。有时，发射机通信效果突然劣化，或者工作电流异常，也需要快速检测天线状况，以排除故障。大部分电台都没有内置驻波表，所以检测驻波比还需要连接专用的驻波表。天线分析仪无需电台主机配合，就能独立测量天馈系统各频点的驻波情况，并且能提供更多的参考数据，大大提高了检测效率。手持便携式的天线分析仪内置电池，更适合现场工作，在楼顶就能对天线进行检测。

天线分析仪是天线安装的好帮手。大部分商品级的大型天线在安装时都需要简单的拼装，有的天线在安装后还需要进行简单的调整才能达到最佳状态，这也是HAM安装短波天线时经常遇到的事。通过天线分析仪可以快速了解天线的状况，谐振点是偏高还是偏低，以便确定下一步调整的方向。手持天线分析仪不但体积小巧，而且一般都是内置电池，所以HAM在架设天线时不必把电台搬到楼顶来，测试天线也不再有电源的问题。一台天线分析仪就可以完全搞定，而且操作起来比“电台+驻波表”方便得多。

对于HAM而言，天线分析仪还有很多扩展用途。除了天线的测量，天线分析仪还可以用于电缆的检测和巴伦性能的测试，甚至还能当信号发生器使用。

天线分析仪VS驻波表

天线分析仪与驻波表都可以用来测量天馈系统的驻波，但两者在功能和特性上却有较大的不同。

天线分析仪测试属于离线测试，可以独立工作，不用发射机配合来提供功率信号。天线分析仪的测试频率往往在一定波段内是连续可调的，而且调节方便。天线分析仪提供的天线测试参数较多，除了基本的驻波数据外，通常还有阻抗数据，高级一点的天线分析仪还能提供一定频率区间的驻波曲线、天线谐振测试、回波损耗、电缆损耗、史密斯圆图、频谱分析等扩展测试功能。

驻波表测试属于在线测试，必须依赖发射机提供功率信号才能工作。有的商用发射机是固定频点工作的机器，不能提供连续调节发射频率，有很多频率连续可调的发射机在发射时频率是不允许改变的，所以每改变一个频率，都需要松开PTT，连续测量不是很方便。虽然驻波表大部分是无源仪器，不需要电源，但发射机，特别是短波发射机，都需要市电，且有些发射机体积比较大，搬动不便，这也给驻波表的现场测试造成诸多不便。驻波表的天线测试功能比较单一，只能提供单一频点的驻波情况。

因此，总的来说，天线分析仪在功能和使用便捷性上都远胜于驻波表。不过驻波表测试天线驻波也有一个长处，就是用其测试天线时，发射机提供少则几瓦、多则几十瓦的测试功率，这是真正的实际工作情况，就算馈线系统损耗较大，也能准确测量出驻波比。天线分析仪自带的信号源输出功率比较小，大部分产品都是毫瓦级的输出功率，遇到电缆过长、损耗较大的系统，很容易使测试驻波偏小。由此看来，用天线分析仪调试完天线后，再用驻波表看一下实际工作状态下的驻波情况，还是有一定必要的。

天线分析仪VS扫频仪

很多小的天线作坊都会配备扫频仪来检测天线，而不是业余电台爱好者常用的259/269之类的天线分析仪。扫频仪是传统的仪器，它可以测量并图示化地显示被测网络的频幅特性，扫频仪配合定向耦合器、驻波电桥就能显示反射能量。扫频仪相对259/269级别的天线分析仪，图示化显示是它最大的优点，直观的图形显示为商业生产者所推崇。但一般老式的诸如BT-3系列扫频仪的分辨率比较低，一般频率调节显示到MHz位，不太适合精细调节短波天线，调试带宽比较大的U/V段天线还是不错的。相比之下，259/269级别的天线分析仪的工作分辨率都优于1kHz，而且可以直接读出驻波比。

扫频仪是20世纪80年代以前的仪器，之后的替代仪器是标量网络分析仪和现代主力的矢量网络分析仪，性能也带来巨大的提升，在精度和功能上远超业余电台用的259/269级别的天线分析仪。现代一些高端的天线分析仪具有部分矢量网络分析仪的功能，同时价格也大幅提高。出于价格的因素，高端天线分析仪和网络分析仪不是一般个人和小天线作坊愿意配置的。现在对于有一定规模的天线生产厂家，矢量网络分析仪是必备的镇厂之宝。259/269级别的天线分析仪与扫频仪和网络分析仪相比，有体积小、价格低、使用方便的优点，比较适合业余天线测量用途。

基本原理与结构

最基本的天线分析仪由频率产生单元、电桥测量单元、数据处理单元、显示单元四大主要部分构成，基本型产品内部结构并不十分复杂。有HAM拆开进口的MFJ-269天线分析仪发现，价值几千元的仪器在外壳之下的线路并不复杂。

在DDS流行的时代，频率产生已经很好解决，高端的天线分析仪大多采用DDS方式直接合成频率，频率稳定性比较好，并可以方便键盘频率直接输入，也方便通过编程来实现扫频输出。入门级的天线分析仪多采用压控振荡器，用户界面通过调节电位器来改变频率，并进行波段划分。使用压控振荡器产生频率具有成本低、技术相对简单的

优点，缺点是频率稳定性略差，好在入门级天线分析仪的用户对频率的稳定性要求很低。压控振荡器的频率分辨率和稳定性与电压变化的量和稳定度有关，为了得到更精细的调节，有些天线分析仪频率调节电位器采用多圈电位器，使振荡电路得到更小、更精密的电压变化。入门级天线分析仪内置有频率计电路，通过频率计对振荡器的实时测量来指示工作频率。

反射电桥是测量反射能量的高频器件，也是天线分析仪高频部件的核心。电桥的性能直接决定天线分析仪测量的准确度。虽然电桥看上去元器件不多，结构也简单，但要制作出高性能的电桥是件要靠仪器辅助并利用经验的技术活，而且一些专用器件还不容易买到。

显示处理单元主要是用户界面、控制单元、显示界面。高档点的天线分析仪都采用大面积点阵液晶屏幕（包括TFT屏幕）显示，点阵屏的优点是显示内容灵活，包括显示各种曲线图型。入门级的天线分析仪采用条状点阵液晶屏，也方便显示频率、驻波、阻抗等信息。由于很多老HAM都怀念传统的指针表，所以259/269等天线分析仪依然保持了指针表指示窗口，用于同步双指示。也有一些天线分析仪的数字显示单元仅仅用于当前工作频率指示，驻波数据和阻抗数据要靠指针表头输出，这与厂家的用户界面设计理念有关。不过，作为天线的复合阻抗有电阻分量和电抗分量，单用指针表的话无法指示“电阻分量＋电抗分量”，一般只能指示一个复合阻抗。

天线分析仪基本应用

我们以业余电台爱好者用得最多的MFJ 259/269天线分析仪为例介绍天线分析仪基本功能与用法。

天线驻波测试是业余电台爱好者用得最多的功能，通过测试天馈系统的驻波比可以了解天线的谐振情况。如果天线失谐。驻波比将明显劣化。

第一步，为 MFJ-269 安装上电池，将天线电缆连接到天线分析仪上（天线接头规格不同，需要使用转接头），按下机器右上角的红色电源按钮，开启电源。第二步，按机器液晶屏右侧的MODE 白色按钮，选择驻波 / 阻抗测试界面。第三步，转动机器右下角标有“FREQUENCY MHz”字样的波段选择开关，选择对应测试的频段。第四步，旋转波段选择开关左侧标有“TUNE”字样的频率调节电位器，注视液晶屏第一行左侧显示的实时频率，调节到需要测试驻波的频率。液晶屏的显示在该测试模式下分为两行：第一行左侧为当前测试频率，右侧为驻波比数值（在屏幕右下角有 SWR 的标志），第二行显示阻抗的两个分量*Rs*(电阻分量)和*Xs*(电抗分量)，理想状态下*Rs*=50 *Xs*=0。在液晶屏下方有两个简易指针表，下方标有 SWR 字样的同步指示驻波比（与液晶屏上数字显示的驻波比一样），标有“IMPEDANCE”字样的显示复合阻抗。

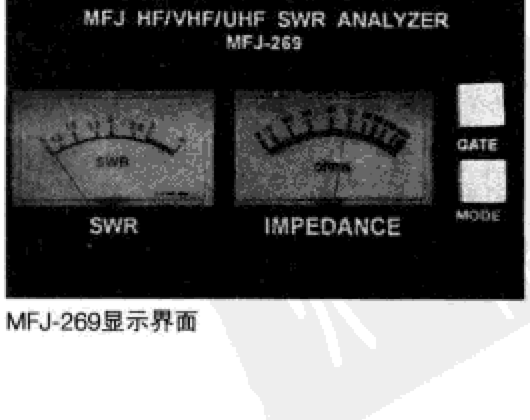
检测电缆和车载天线吸盘是否意外损坏是天线分析仪的一个扩展功能。第一步，将吸盘或者电缆的末端去掉天线，安装上50Ω的负载器（假负载）。由于天线分析仪测试功率很小，所以可以使用市场上廉价的50Ω电缆终结器作为负载器。第二步，将被测试电缆的另一端与天线分析仪连接，并开启天线分析仪。第三步，在工作频段内任意频点上观察驻波情况。由于电缆另一端使用的是匹配负载，所以SWR<1.1。如果SWR>1.5，则说明电缆或者连接器出现问题。一般室外天线的接头和电缆进水都会导致驻波异常，车载吸盘接口的焊接点脱落、虚焊或者电缆内部有断裂都会引起驻波明显劣化。

天线分析仪可用来测试自制巴伦的特性。第一步，将巴伦的输出端用对应阻值的无感电阻连接，连接线尽量短，如果没有专用的无感电阻，也可以使用普通金属膜电阻。电阻的阻值依据巴伦的结构而定，例如，1:1的巴伦使用50Ω的电阻，1:4的巴伦使用200Ω的电阻，1:9的巴伦使用450Ω的电阻。第二步，将巴伦的输入端通过同轴电缆与天线分析仪连接。第三步，在整个工作频段扫描驻波比，一般要求SWR<1.5。如果随着频率的升高，驻波比也慢慢上升，那么当驻波比大于1.5时的频率基本就是该巴伦工作频率的上限。巴伦的工作频率上限与磁环的性能和制作工艺有关。

有的业余无线电爱好者还将天线分析仪用做信号源。专业的信号源比较贵，所以业余电台爱好者尽量“物尽其用”。前面已经提到天线分析仪的内核之一就是一个连续频率可调的信号发生装置，所以理论上，直接利用天线分析仪的信号输出就能作为信号源之用，只是天线分析仪没有信号幅度调节功能。有的HAM为天线分析仪装上小天线，然后通过拉开距离的方法衰减有效信号，也有的HAM为天线分析仪天线输出端口安装上外置可调衰减器，这样就能提供幅度可调的小信号了。

天线分析仪的简易校准

HAM使用了一段时间的天线分析



MFJ-269显示界面

仪后，有时会发现天线分析仪的测试结果与驻波表测量结果有出入，会怀疑自己的仪器是否准确。我们可以通过简单的方式进行校验。

校准天线分析仪的驻波测量可以用标准负载。天线分析仪连接50Ω负载，理论驻波应该是1.0，连接25Ω或者100Ω负载理论驻波应该是2.0，连接16.67Ω或者150Ω负载理论驻波应该是3.0，负载是开路或者短路的理论驻波应该是无穷大。一般HAM手里多拥有50Ω假负载，但其他阻值的失配负载比较少，专用的进口名牌中成套微波标准负载的价格昂贵，所以，本文中笔者为大家介绍一些制作失配负载的廉价方法。

市场上可以方便、廉价地买到BNC接口的50Ω和75Ω的终端负载，单个的50Ω终端负载就可以作为标准50Ω/*SWR*=1的匹配参考负载，75Ω终端负载可以作为标准*SWR*=1.5的失配参考负载。通过一个T型三通，将两个50Ω的终端负载并联起来，就成为*SWR*=2的失配参考负载。用两副T型三通相互连接，再安装3个50Ω终端负载，就能成为*SWR*=3的失配参考负载。

通过实际试验，市场上卖1～3元的BNC接口终端负载完全可以满足HF和VHF测试的需要。按上述方法制作的一套参考负载只需花费10元左右。由于天线分析仪输出的高频功率非常小，所以负载器功率承受问题不必考虑。天线分析仪通过*SWR*=1、1.5、2、3的负载测试，基本可以判断仪器是否工作正常。天线分析仪内部有校准用的微调电位器，可参考维修手册，配合标准负载进行校准。

DIY的简易失配负载

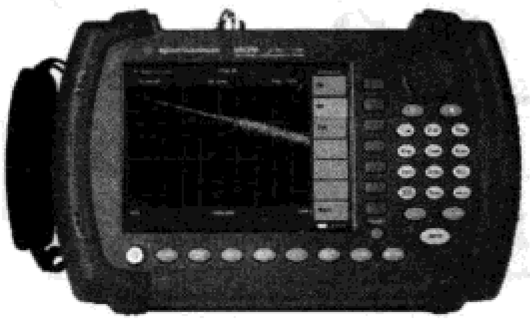
天线分析仪产品与品牌

目前商业上用得比较多的高端天线分析仪有安捷伦 N9330A/B、安立 S331D/332D、鸟牌 SA4000A/SA2000A。

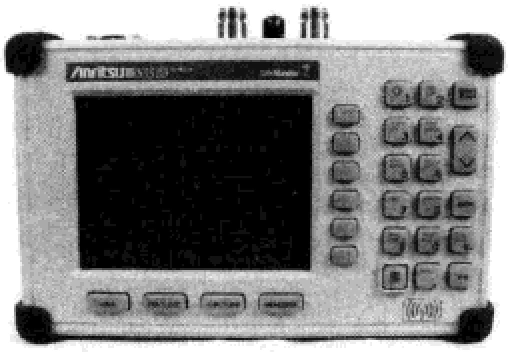
安捷伦、安立、鸟牌都是做射频仪器的著名大厂，高端产品具有覆盖频率广、功能多、显示信息丰富等特点。如Agilent N9330A的频率覆盖范围为25MHz～4GHz，具有回波损耗、SWR、电缆损耗、故障距离（DTF）四大功能、显示屏采用7.2英寸640×480分辨率的彩色液晶屏。高端天线分析仪的工作频率范围比较注重商用频率，尤其是电信网络频率。作为专业仪器，价格比较昂贵，一台N9330A的市价在40 000元人民币左右，大部分只有单位才会采购。

相比之下，业余电台使用的天线分析仪结构和电路就要简单得多，更贴近HAM的实际需求。工作频率对短波有很好的覆盖，同时在价格上也为广大个人用户所能承受。业余电台爱好者常用的天线分析仪有MFJ-259/269、KURANISHI BR-510D、Comet AA-170。MFJ 259/269是国内HAM最早接触的手持天线分析仪，也是HAM使用率最高的进口天线分析仪。MFJ 269比MFJ 259增加了430MHz UHF波段的测试能力。MFJ 269在同级别产品中功能最多，除了基本的驻波测试功能外，还有电缆测试等功能。MFJ-269在国内的售价约3500元人民币，是个人用户比较容易接受的价格。

KURANISHI BR-510D是日本专业厂家的新产品，早期为BR200/



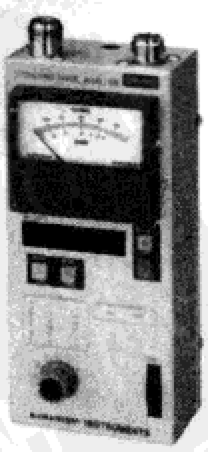
Agilent N9330A



Anritsu S332D

Bird SA6000EX

MFJ-269



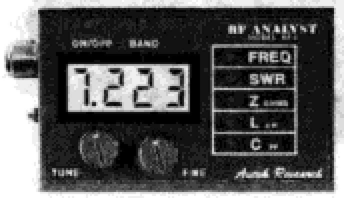
KURANISHI
BR-510D

Rock-Mite
国产“章鱼”第二版设计者说

◎卜宪之（BD4RG）

原版的Rock-Mite是由美国火腿K1SWL在2002年设计开发的，它用了一个8脚的小单片机与简单的DC（直接变换）收发信机相结合，既保留了DC收发信机的简单，又在性能和实用性方面有了很大的改进，使其成为一个简单、实用的CW QRP收发信机小套件。此套件曾刊登在美国2003年的QST杂志上，从那时起，它就一直被众多火腿所关注、追捧，在eham 网站上得到了很高的评价。据K1SWL说，迄今为止，全球已售出了大约8000套原版Rock-Mite，其受欢迎的程度由此可见一斑。

两年前，BD6CR荣新华先生将这个套件第一次正式介绍到了国内，2008 年6 月份的《无线电》杂志上发表了BD6CR关于这个套件的制作文章，笔者正是看了这篇文章萌发了自制这个套件的想法。大约在2008 年8月，我仿制成功了Rock-Mite 的第一版电路，不过当时对其电路的理解还不深，以为



Autek Research RF1

Comet AA-170

AEA 140-525分析仪

BR210。BR-510D增加了UHF波段的测试通道，并依然覆盖短波波段。虽然BR-510D的功能比较简单，只提供驻波测试和阻抗测试，而且测试数据都通过指针表指示，但很多HAM依然推崇它的专业品质。BR-510D价格也比较高（将近700美元），但国内依然有不少发烧友购买。

Comet AA-170是国内近期新上市的一款手持天线分析仪，外观设计上与KURANISHI的产品有几分类似。其特点是采用双指针表头，可以同时显示驻波比数据和阻抗数据，省去了KURANISHI系列产品需要手动切换的麻烦。不过Comet AA-170的工作频率为1.8～170MHz，并不包括国内热门的UHF波段。

此外，国内也有HAM自制天线分析仪，历经多个版本升级，目前型号为AW07A，频率工作范围包含从短波一直到UHF，采用点阵液晶条屏全数字化显示，具有很高的性价比，国内售价不到700人民币。AW07A虽然属于个人DIY的作品，但外观和制造水平已经与正规商品无异。

国外的HAM也有使用Autek Research RF1天线分析仪和AEA Technology系列天线分析仪等。AEA天线分析仪的最大特色是可以显示频率区间的驻波曲线图形，更容易总览天线的带宽特性和中心频率，并可以与电脑连接，进一步分析和保存数据。这也是业余电台所用的天线分析仪下一步发展的方向。

总而言之，手持天线分析仪在商用上是天馈系统维护的得力助手，在业余电台应用方面更是天线发烧友的必备仪器，可以使天线的制作、调整、维护达到事半功倍的效果。

这么简单的电路，灵敏度不会很高，想当然地加了一级高放，现在看来，实为画蛇添足。

时隔两年，我再次萌发了重做Rock-Mite的想法。原因很简单，就是想为爱好者提供一个电路尽可能简单、制作容易的小套件，让制作者们不必花很多的时间和精力就可以感受到DIY和QRP的乐趣。于是，Rock-Mite第二版诞生了。这一版的电路，我吸收了前面设计的经验，将加上去的高放去掉了（经试验，这个第二版的电路本身的灵敏度已经足够高了），将低放部分也改回了原版的运放电路（比第一版用LM386 时的噪声明显低了些）。参照原版，笔者没有像第一版那样把插座等元件直接焊接到PCB上，这样可以充分发挥制作者的创造力，使用者可以根据手头的材料，灵活地设计制作机壳。看看国外的制作，感觉他们就地取材、各具特色的机壳也是这个小套件的一大亮点。

由于BD6CR的第一台Rock-Mite做出来后样子有点像章鱼，所以国内的火腿又把这个小套件称作“章鱼”。在国外，“Rock”指的是石英晶体，“Mite ”原指一种小虫子，用在这个套件上，是形容这个套件小巧、可爱的意思。

电路如何工作

这个小套件是一个单频点、简易的CW QRP收发信机，输出功率1~2W，频率选用国内热门的7023kHz。从天线（ANT）上接收到的7023kHz 的CW信号，经L2、L3、C13、C14、C15、C8组成的低通滤波器，之后通过C16、C17、B2、B3 组成的晶体滤波器，送入解调集成电路IC1，同时B1、VT1及其外围电路组成了晶体振荡电路。在接收状态下，这个振荡电路的振荡频率大约为7023.7kHz，这个振荡信号也被送到解调电路IC1，在IC1的输出端（4、5 脚）将会获得一个大约700Hz 音频的差频信号，这种将高频信号直接变换成音频信号的方式就叫做直接变换接收（DC）。该音频信号经过IC2B的低频放大后，通过C25、VT5接到音频输出端（AF），这样我们就可以通过接在AF 输出端的耳机听到大约700Hz 的CW信号了。VT5是一个电子开关，由单片机IC3 控制，接收时这个开关处以接通状态，发射时这个开关处以断开状态，其作用是防止发射时产生的噪声窜入耳机。

Rock-Mite可装于这样的铝型材机壳中

发射时，单片机产生控制信号，使VT6 导通，VT6 导通又使得 VD1 导通，此时 C2 被接入了 B1、VT1 组成的晶体振荡电路，这使得振荡频率比接收时低了大约 700Hz，也就是我们需要的 7023kHz。VT1 产生的振荡信号通过 C6 加到 VT2 的基极，但 VT2 的工作与否受控于 VT4，VT4 又由单片机 IC3 控制。在接收状态时，VT4 是截止的，所以 VT2 不工作。当处于发射状态时，VT4 导通、VT2 处于工作状态。经过 VT2 放大后的信号通过 C9 加在功放管 VT3 的基极上，经过功放管的放大，在功放管 VT3 的集电极有 1 ~ 2W 的高频功率，经过 C12 送到由 L2、L3 等组成的低通滤波器，滤除谐波后送到天线端。

单片机IC3是这个小电路的指挥控制中心，收发控制信号、自动键时序信号、侧音信号都是由它产生的，它还要完成预存呼号以及自动呼叫等功能。正因为有了这个单片机，使得这个小电路和普通的DC机器比起来，使用更方便，功能更强劲。

和原版的 Rock-Mite 相比，现在的第二版做了几点改进：

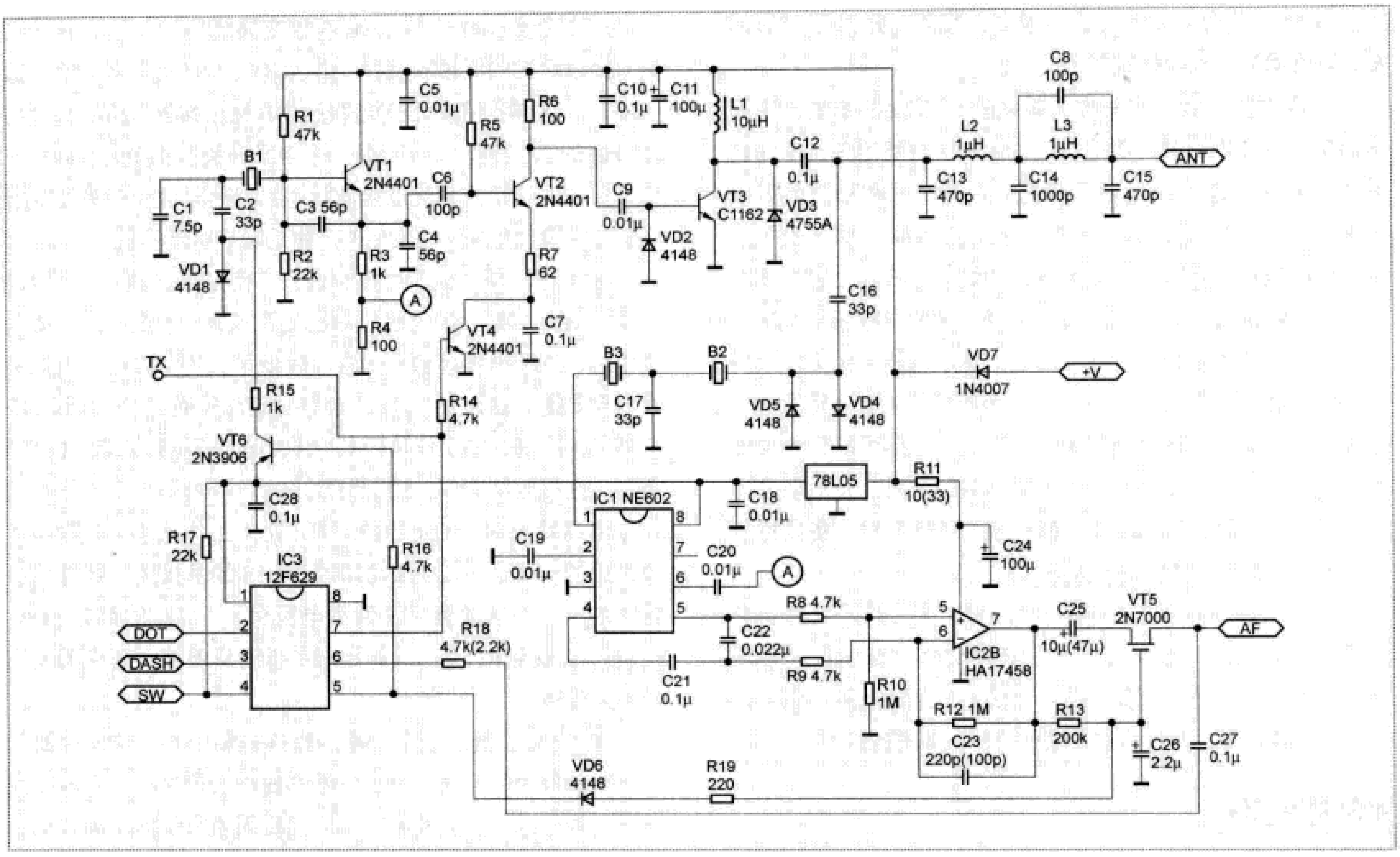
（1）将输入端的晶体滤波器由一只晶体改为用两只晶体，这是参考了 Hi-Mite 的做法，这个改进将提高接收时的抗干扰性能。

（2）将原版采用的稳压管稳压方式改为用 78L05 稳压器稳压，这个改进不仅改善了稳压性能，也减少了接收时的电源消耗，原版的电路在接收时的耗电为 20 ~ 30mA，现在这个电路接收时的耗电只有 8 ~ 10mA，不足原版的一半，更加符合 QRP 节能环保的理念。

（3）将发射管改为功率较大的 2SC1162，功率由原版的 500mW 提高到 1 ~ 2W 的水平，使通联更加容易。输出低通滤波器也做了一点改动，增加了 C8 这个电容。经试验，这样改进后对二次谐波的抑制有明显的提高。

（4）将单片机 IC3 由原版的 12C508 改为 12F629，增加了预存呼号以及自动呼叫等功能，比原版更加方便、实用。

关于自动键的功能还有个小插曲，当第一批套件已经准备就绪之时，忽然有火腿朋友提出可否加上 BUG（半自动键）功能。开始不知是何道理，后经 BA6QH、BA1IO 等高手的指点终于明白了个中奥妙。虽然时间紧迫，但又不想让大家失望，于是突击用了大半天的时间将这个 BUG 功能加了上去，使其更具“国产”特色。



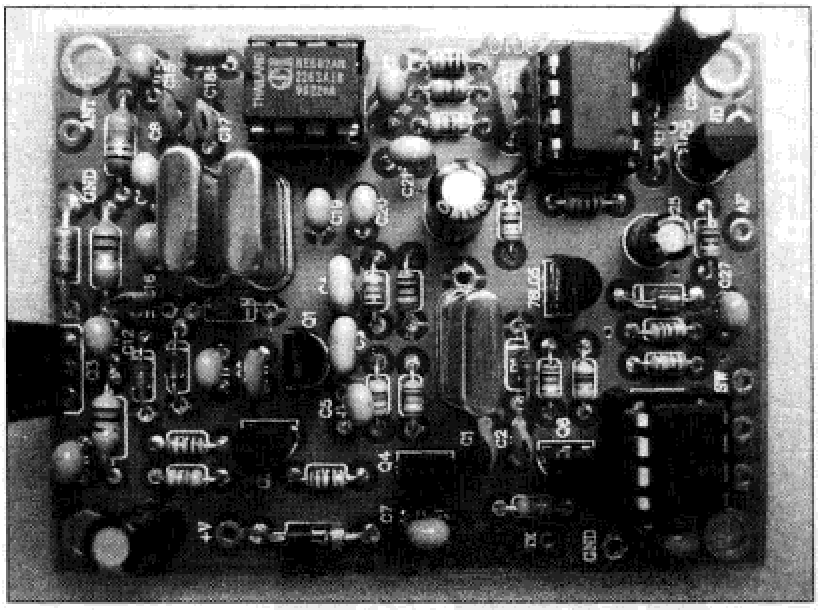
国产“章鱼”第二版电路原理图（7023单频点CW收发信机）

制作说明

这个小电路的制作很简单，它不需要任何调试，一个晚上就可以完成，有一块万用表来辅助一下就足够了，只需一个一个地将元件装到PCB上就可以了。有一点点制作经验的朋友的成功率几乎是百分之百，即使是第一次装电路的朋友应该也不会感到太困难。这个电路特别适合经验不多的初学者练手，也适合那些喜欢动手，但又没有太多时间的朋友用来感受DIY的乐趣。

参照原版的设计理念，电路的设计尽可能简单。如果你想让它更加完美，还有些可以改进的地方，比如可以为电路加个音量控制电位器、发射指示灯等。限于篇幅，这些改进的具体方法就不在这里一一列出了。

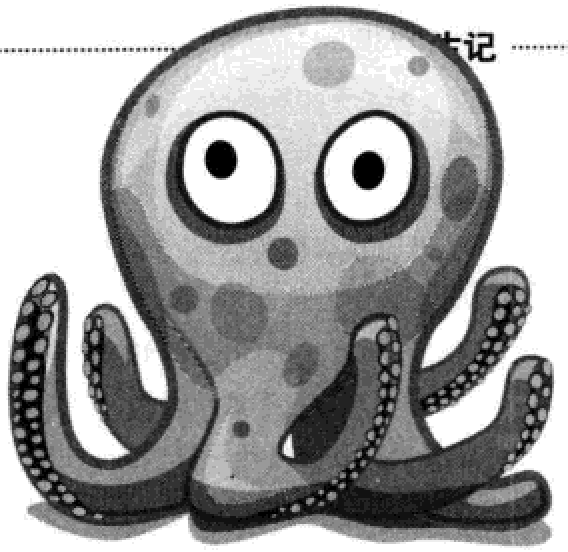
这个电路的设计目标是在12V时提供大约1W的输出功率，为了简单，输出滤波器的电感没采用通常的磁环，而是采用了色码电感，如果想要增加输出功率，可以用磁环来取代这些电感。在笔者写这篇稿子的时候，已经有不少爱好者将此电路安装成功，也有不少朋友已经用它成功地完成了通联，同时各具特色的机壳也丝毫不输于国外的爱好者。更有“道”中高人用其经过改进后的“章鱼”联到了远在欧洲的DX电台！


装配好的PCB

用自己制作的、如此简单的QRP设备，加上房顶上那个不起眼的水平垂直天线或者倒V天线真的能够与远在天边的火腿朋友沟通联络？无线电真是太神奇了！这也许就是业余无线电活动能够经久不衰、让众多爱好者乐此不疲的原因之一吧。

编者注：这个制作会涉及到单片机编程，对此有兴趣的读者，可与卜老师联系：bd4rg@21cn.com

“章鱼”再生记



◎阮东升（BA6QH）

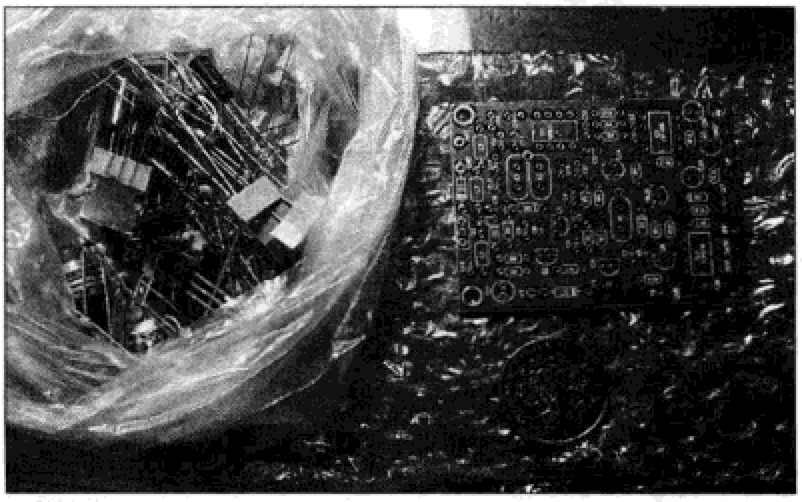
2010年8月15日，不仅是日本宣布无条件投降65周年纪念日，更是举国哀悼的日子，为了悼念甘南舟曲特大泥石流遇难的同胞，国务院把这一天定为全民哀悼日。作为一名业余无线电爱好者，笔者决定以保持无线电静默的方式来表示哀悼，取消了原定为测试HS-1A（BD4RG新开发的一款QRP CW收发信机）而参加的周末全欧比赛。正巧几天前收到BD4RG卜老师寄来的仿Rock-Mite第二版套件以及一个小的自动键电路套件，在这个特别的日子里，笔者进行了一次别样的DIY之旅。

套件背景介绍

2年前，荣新华（BD6CR）先生从国外购买了一款在QRPer中十分流行的小套件Rock-Mite，完成制作后给我试用了一段时间，后来发表在2008年第6期《无线电》杂志上。当时，该套件从制作好的外观上看，好似一条活脱脱的“章鱼”，故给其取中文名为“章鱼”。那款套件的末级功放管使用的是2N2222A，输出功率在200mW左右。经过一段时间的试用，我们发现了一些设计上的问题。由于套件是国外HAM提供，要修改起来并不容易，之后也没有在国内流行起来。

今年，在世界杯上叱诧风云的并不是那些球星大腕，而是那只章鱼保罗，它对每场比赛的预测准确率达到了惊人的100%。借此东风，卜宪之（BD4RG）老师对这款电路的设计做了进一步的修改，推出了Rock-Mite（章鱼）第二版。

这款套件的特点在于将一个8脚的单片机和DC接收机进行了巧妙的结合，电路更加简洁明了，不懂原理的爱好者可以装制成功。尤其是针对原机自动键上的一些软件设计缺陷做了改进，将HB-1A（黑豹）的自动键功能移植过来，不仅增加了自动呼叫功能，还增加了关机记忆功能，不像原版那样每次开机都得把速度重新进行调整。在众多CWer的提议下，这款套件还增加了使人“销魂”的BUG（半自动键）功能，这些改进使得该机在自动键功能上变得十分强大。笔者有时就在想，如此强大的自动键功能用在这样一个简单的套件上是不是有点喧宾夺主的味道？这款套件非常适合想动手但又不想花太多时间的火腿享受DIY及用自己DIY的机器通联的乐趣，不需任何调试，一个晚上就可以完成。这款机器在国外很受欢迎，eham上的评价极高。



套件散件

经过实际的制作与使用，笔者终于明白为何这款套件在国外QRPer中如此流行以及《小功率操作指南——QRP之道》一书中大篇幅重点介绍此套件的原因所在了。

DIY及摩机过程

近一段时间，笔者工作上的事情特别多，经常加班，8月15日早上加班回到家里，准备开始DIY的时候已经是9点30分了。笔者首先打开收音机，一边听着中央人民广播电台“中国之声”的特别报道，一边拆开寄来的套件包装。

通过与夜鹰PCB板子的比较，我们可以看出，这一版的“章鱼”体积并不大，只有6.5cm×5cm，而且使用的都是直插元件。当此套件刚刚推出时，网上就有朋友问为何不使用贴片元件，把体积做得更加小巧。笔者与卜老师的观点一致，对于这种简单的套件，还是有引脚的更加合适，没有必要使用贴片元件，并不是每位DIYer都擅长贴片元件的焊接。尤其是像笔者这样到了一定年龄“老眼昏花”的爱好者，对那些婀娜多姿、小巧玲珑的贴片元件只能敬而远之，而且贴片电容上面连数值都没有，用错了，检查起来非常困难。一个简单的例子就能说明问题：贴片元件是外国人发明的，但在国外提供的这些套件里并没有使用贴片元件，总之，这款套件很符合笔者的心意。

无论从事何种DIY，笔者都喜欢精益求精，元器件都希望能够选用上佳品种。本套件使用的电容多是价格不菲的NP0独石电容，晶体管使用的是进口的品质上乘的2N4401及2N3906，基本没有摩机余地，但笔者还是找来了军用集成电路的插座以及准备用于摩机的美式磁环。

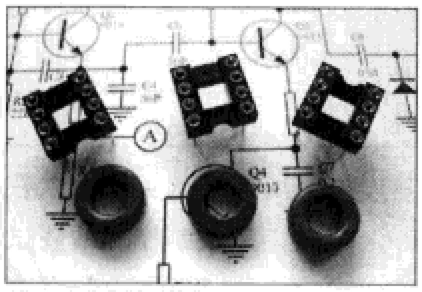
当笔者将集成电路的插座焊好，刚焊接了几只电阻，广播里就传来了10时整的报时声，舟曲的悼念活动正式开始。听着广播中传来的防空警报汽笛拉响的声音，笔者放下烙铁起立默哀，舟曲遇难的同胞你们一路走好。默哀完毕，笔者突然想到前段时间曾到武汉参加学习并到笔者家中上机操作的甘肃火腿BG9LL安老师，曾经听他提及他的家乡位于甘南，人称“小江南”之处，会是舟曲吗？赶紧发了一条慰问的短信。很快我就收到安老师的回信，说他家距离舟曲直线距离230km，而且于发生泥石流的前两天刚刚从那里自驾游归来，好险！得到老朋友平安的消息，一颗悬着的心落了下来，接下来继续DIY。此次的DIY与以往的均不一样，是在一种肃穆的心境之下完成的。

制作过程不再详述，需要注意的是3只2N4401的管子要挑选一下，β值最大的用在本振级VT1，其次的用在推动级VT2，最小的用在起开关作用的VT3上，其余只需按照元件列表安装、焊接好即可。整个安装过程断断续续用了大约3、4个小时。从初步安装完成的图片中可以看到，用于给末级功放管供电的扼流圈L1、耦合输出电容C12以及输出低通滤波器L2、L3都只是简单焊接上去，这些位置就是笔者准备进行打摩的地方。套件的设计宗旨是在这样条件下输出1～2W，因此也没有给功放管C1162加上散热片。为了安全起见，笔者后来还是加上了一块小的散热片。从以前笔者对“夜鹰”的制作与使用情况来看，能否最大限度地挖掘电路的潜力，提高输出效率，并不在于单纯的提升电压。通过学习我们知道，射频电路的阻抗匹配十分重要，借鉴“夜鹰”电路的思路，笔者对套件的末级功放部分进行了重点改造。

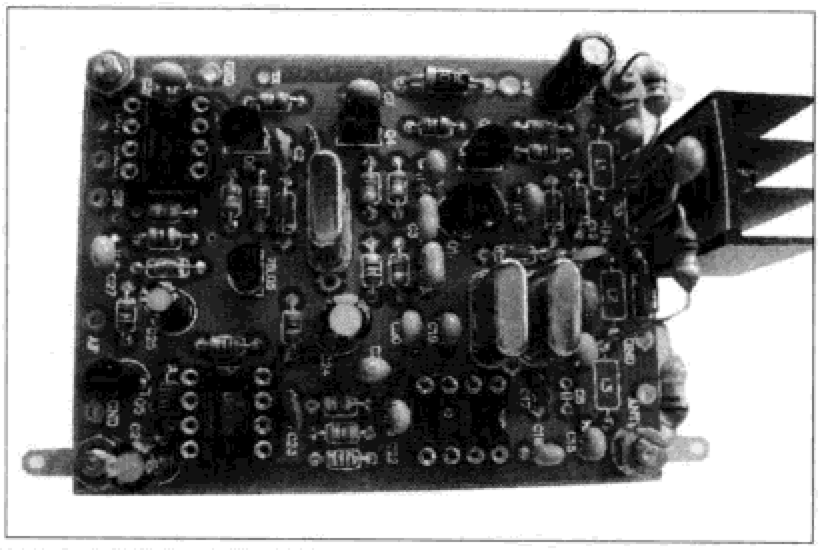
从国外原版电路上可以看到，末级功放部分原来使用的是2N2222A的管子，改用了功率更大的管子后，这些射频功放管的输入及输出阻抗相对来说就要低得多。改造的方法很简单，输入部分在R6与VT2的集电极处串入一个阻抗变换变压器，选用FT37-43的美式磁环，用Φ0.51mm的漆包线初级绕8圈，次级绕1圈，目的是使VT2输出的高阻抗与VT3的低输入阻抗相匹配。输出部分去掉原机的L1，换上一只1:4的变压器，同样选用FT37-43的磁环，用2根Φ0.51mm的漆包线均匀绞合，在磁环上绕7圈，然后用万用表找出同名端，首尾相接，连接端接功率管的集电极，其余两端一个接供电端一个接到输出端，目的是使输出的12.5Ω阻抗与天线50Ω的阻抗相匹配。

“夜鹰”的PCB

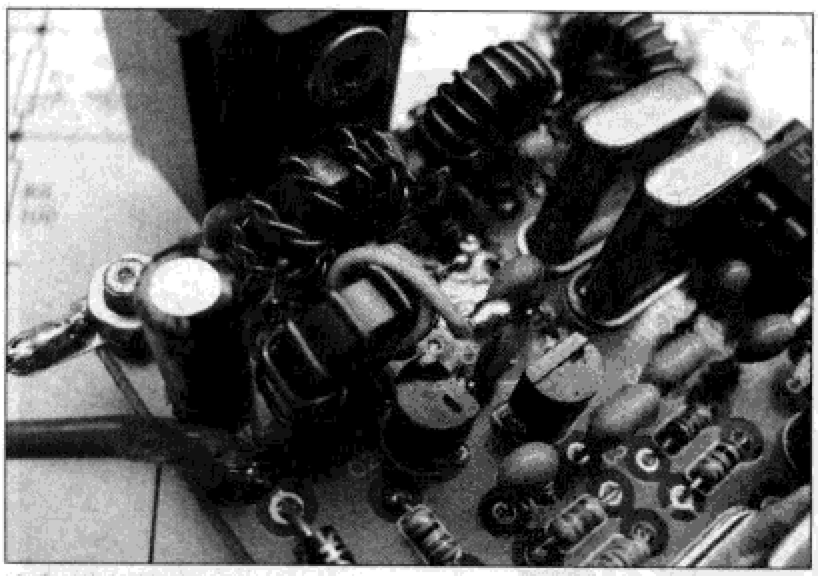
“章鱼”的PCB



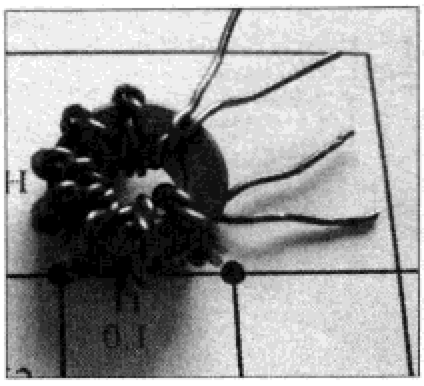
美式磁环与军用插座

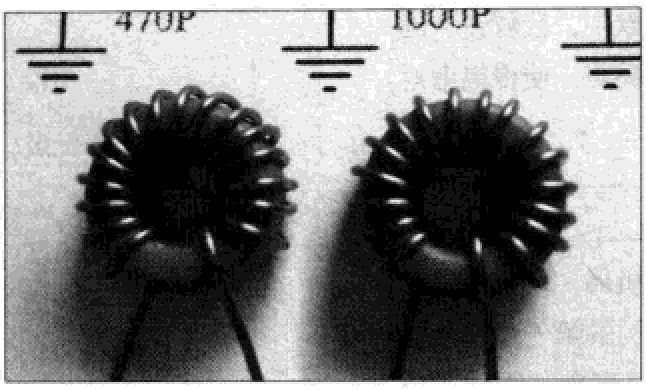


初步完成安装的“章鱼”电路板

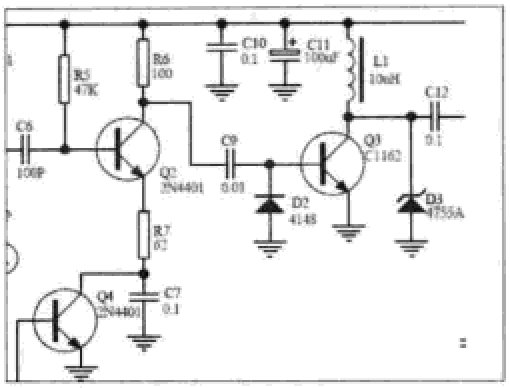


改造后的电路细节部分

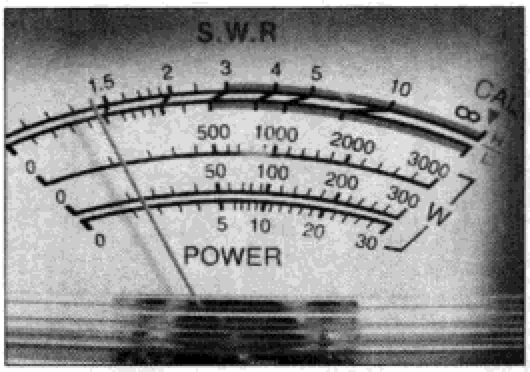

输出1:4变压器绕制完成



绕制的低通磁环

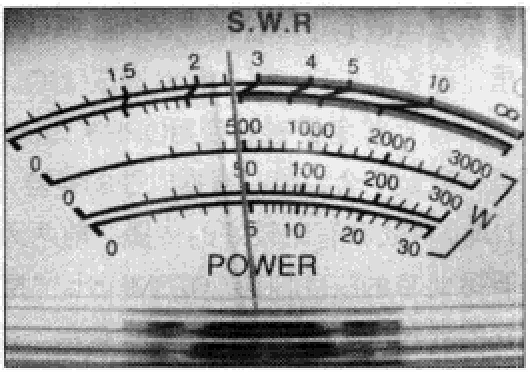


原图中的功放电路



改造前的功率测试

频率计显示



摩机改造完成后的功率测试

输出低通滤波器的L2、L3使用T37-2的磁环用Φ0.51mm的漆包线绕16圈，由于改造后功率的提高，原来使用的色码电感已经不能用于此处，必须换掉。值得一提的是，BD4RG卜老师对经典的低通滤波器也做了改进，加上了C8，经测试，可以提高对二次谐波的抑制，谐波抑制大约可以达到40dB，而原版的电路大概只有30dB多一点。由此也可以看出，虽然这个套件只是简单的QRP机器，但性能指标却没有丝毫放松（“夜鹰”的输出低通滤波部分与此差不多，也可以考虑做这样的改进）。

安装完成后，笔者对改造前后的输出情况进行了简单的对比测试。使用可调电源将电压调到电台常用的13.8V，使用原配零件的输出大约在1.8W。经频率计测试，发射频率精确在7.023MHz上，经过摩机后的输出在3W左右。虽然QRPer追求的是用尽量小的功率通联尽量远的电台，但是如果能够在限定的条件下尽量多一点输出，对实际通联还是很有帮助的。

为了更加深入地挖掘潜力，笔者将功放管替换为能够提供更多输出的D882，然后按照卜老师提供的方法，将推动级的R7更换为33Ω/0.5W的金属膜电阻，并且加大了功放管的散热片面积。通过实际测试，在13.8V的供电、负载50Ω的情况下，输出达到了4.9W。笔者将摩机前后的测试情况列举了一张表格，见附表。

由表可见，通过这次对功放部分摩机前后的对比，笔者

附表

	13.8V	12V	9V
摩机前	1.8W	1.0W	0.5W
摩机后	4.9W	3.2W	0.7W

仅仅添加、更换了几只磁环并作了一些非常小的改动，就能取得如此明显效果。这使得我对一些教科书中关于高频功放阻抗匹配理论的论述有了切身体会。人们常说的一句话 “通过动手来学习”，在这里得到了体现，这也是通过对这款小套件DIY带来的收获。当然，这款小套件还有许多地方可以进行摩机改造升级，本文就不详述了。

折腾了一天，笔者接上天线进行收听已经是深夜时分。由于接收部分仅仅只是简单的由NE602组成的DC形式接收机，根据以往使用“蛙鸣”的经验，在接收的状态下也许会有比较大的广播干扰。当笔者将音频输出接在一款经过改造的电吉他有源音箱上再开机后，就听见“噗噗”的声音，仔细辨别，是美国电台K6XX在呼叫CQ TEST，原来他在比赛中，而且频率是在7.0236MHz上，出乎预料的是——没有广播干扰，背景噪声也比想象中低得多。我想，这应当归功于在NE602输入端的那两只晶体，它们就像两个大力士，双手紧握，除了7.023MHz以外的信号统统力拒于大门之外。一般电路不会采用这种带宽极窄的输入形式，但由于本套件是单频点（7.023MHz）的收发信机，采用这种极端的输入方式，正好在一定程度上弥补了DC接收机的缺陷。后来，笔者又陆续听到北京的BG1SZT、河北石家庄的BH3OTC、青海西宁的

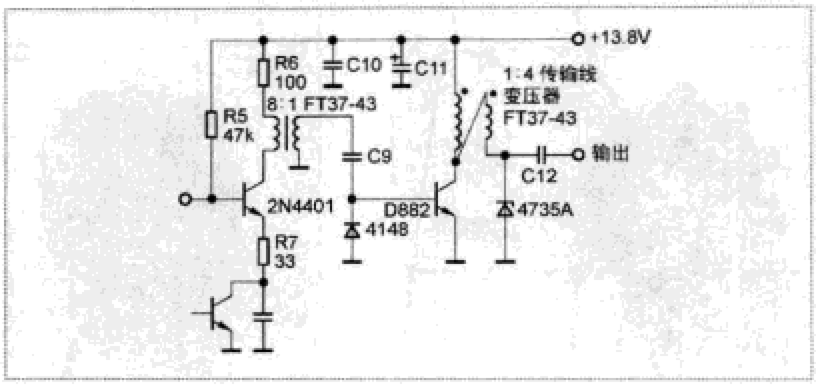
BD9SD等友台的信号。由于还在无线电静默中，我就没有回答他们，但清晰可辨的“嘀嘀嗒嗒”的电码声，使得笔者对第二天的成功通联充满了信心。

实战

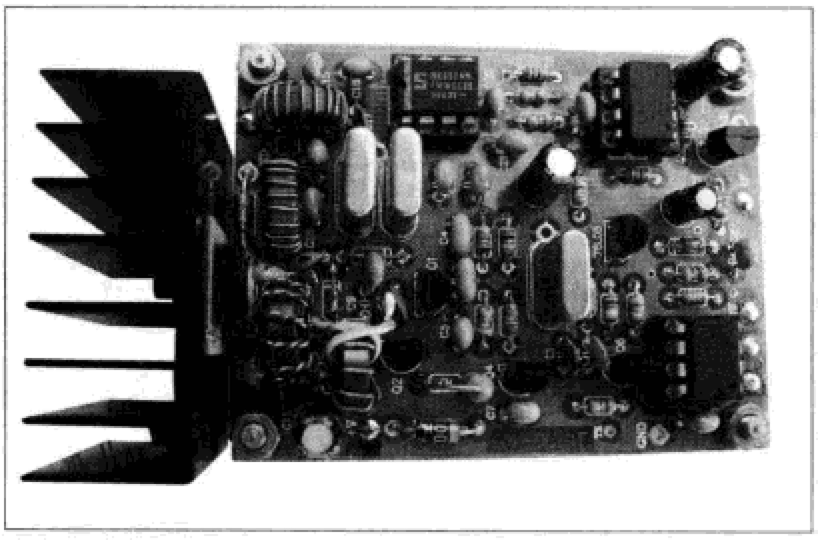
第二天，笔者一大早就起了床。打开机器，设置好自动键速度，用自动呼叫的方式发出了“章鱼”的第一声呼叫，很快就收到BG3QXC/QRP的回答，这是“章鱼”制作完成后的第一个QSO。紧接着BG9LL安老师也出来回答了我的呼叫，昨天还在发短信问候，今天就达成通联，很是兴奋。其后笔者也收到了二位朋友的QSL确认卡。 在短短的5天时间里，笔者就与1～9区的电台完成QSO。

然而笔者更喜欢使用QRP来做DX通联。8月22日早上5点，我起了个大早，根据以往的经验，凌晨这个时间段里，7MHz对欧洲有比较好的传播。前两天在这个时间里，我就听见北京的BD1ISI在7.023MHz上“摆摊”，听到几个来回答的欧洲台号很响亮。由于“章鱼”是单频点的简易机器，7.023MHz这个频点平时主要是国内电台在使用，而一些远距离DX电台一般工作在频率的低端，因此想在这个频点上收获DX就只能守株待兔或者主动呼叫DX。那天早上我打开“章鱼”后，就听到里面有一个十分微弱的信号，仔细辨别，原来是GB1OL（苏格兰）。由于传播的原因英伦三岛的电台最近几年极少听到，更别说在40m波段了，我听他的信号都这么微弱，QRP能有机会吗？犹豫再三，还是决定尝试回答一下，毕竟能在这个频点主动呼叫CQ的DX台并不多，而且每天早上6点至7点，我们这里的广播干扰就会出现。时间不多了，得抓紧，我反复地发送着自己的呼号，他听我肯定更加微弱，但操作员很有耐心，反复询问了数次之后确认了我的呼号，完成了这次不可思议的通联。过后我上网查询，发现那是一个灯塔电台，在IOTA编号EU-009的苏格兰的奥克尼群岛上。看他们那儿的地理状况，在海边的电磁环境应该很好，并且有一副强大的八木天线作后盾，再加上水平高超的操作员，这样一个不可思议的QSO也就有了可能。随着这次QSO的达成，“章鱼”不仅完成了首个欧洲的DX通联，也使笔者收获了在7MHz上一个新的DXCC QRP字头，查询他们最新更新的网上日志也已经确认了这次QSO。

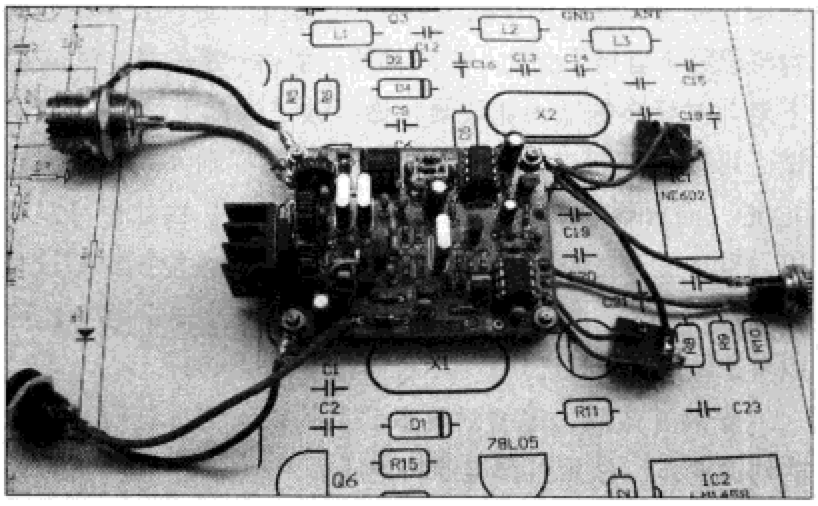
虽然与GB1OL做了QSO，但那毕竟是在信号非常微弱的情况下完成的，总感觉似乎欠缺了一点，不太过瘾。于是在两天后的同一时间，笔者再次早起，这次调整了一下策略，不再一味地呼叫CQ，而是先到DX网站（www.dxsummit.fi/DxSpots.aspx）发了个SPOT，呼叫欧洲，并且强调是自制的设备（Homebrew rig）。没想到刚刚发完不到一分钟，就有“客人”上门——德国的DL9GFB，从“章鱼”里听他的



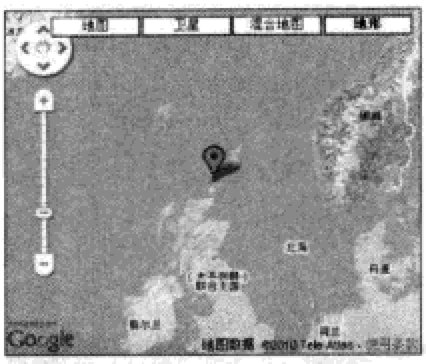
摩机示意图



改造后装好的板子



“青蛙”外形的电路



GB1OL的位置地图

网上的LOG

信号十分清晰，我赶紧拿来相机，一阵手忙脚乱完成了通联并录下视频。前面提到的DX网站是一个实时发布DX信息的网站，许多爱好者在做了DX通联后会将通联信息发布到网站上，以便更多的朋友能够实时了解到有哪些DX电台在工作。特别需要说明的是，在DX网站上自己给自己发SPOT是不合规矩的，但“章鱼”只能单频点工作，我只好偶尔这样变通一下，完成后，笔者再一次在上面发布信息，对DL9GFB的配合表示感谢。

令人惊异的是，与世界杯预测的章鱼“保罗”生在英国长在德国的经历相似，笔者的这只“章鱼”虽然目前只与这两个欧洲台完成了通联，却也是先与英国后与德国的电台相继完成了QSO。这是巧合还是冥冥之中的安排呢，呵呵，但愿笔者的这只“章鱼”能像“保罗”一样，在DX战线上给笔者带来更多的惊喜。

后记

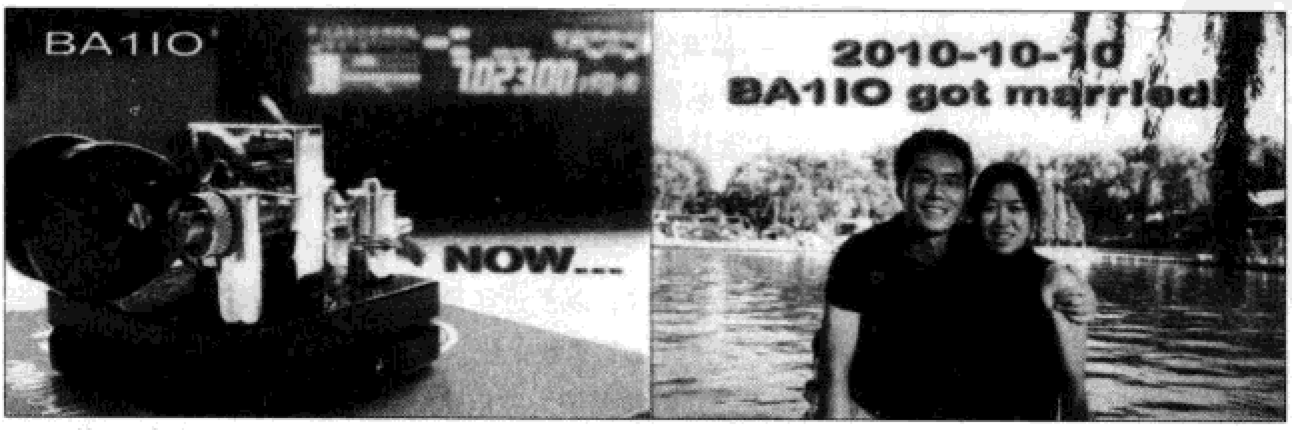
笔者将尚未装入外壳的板子拿到单位准备拍几张照片时，同事们都说这个机器的外形看上去像一只青蛙。由此，笔者联想到，这只像青蛙的“章鱼”不正是“蛙鸣”的改进版吗？由于“蛙鸣”没有侧音且没有差频功能，因此在实际运用中需要一点技巧，初学者会感到比较难以操作，而这款“章鱼”正好弥补了“蛙鸣”在这些方面的不足。有些简单的套件很适合练手，但实用性较差，而这个套件电路不仅简单，而且性能也不错，有较强的实用性。天津的BH3AGU王先生与Rock-Mite完成QSO后说，这个小玩意儿真不错，3W的功率到天津的信号居然有599，堪称是一把“小李飞刀”，是QRPer手中一款极具实战功能的武器。

这款套件只提供了主要元器件而没有提供外壳，PCB上也没有将各种接插件设计上去。事实证明，这是一项非常成功的策略，使得爱好者们在外观的设计上能够最大限度地发挥各自的聪明才智。无论是国内还是国外的爱好者都推出了极富个性的外壳设计，我想这也是套件畅销的原因之一吧。特别值得一提的是，早于笔者拿到套件并装配成功的火腿BA1IO，为其配备了一个极具个性极富创意的外壳——前几年进口大片《玩具总动员》里拯救宇宙的战士巴斯光年（Buzz Lightyear）的造型。

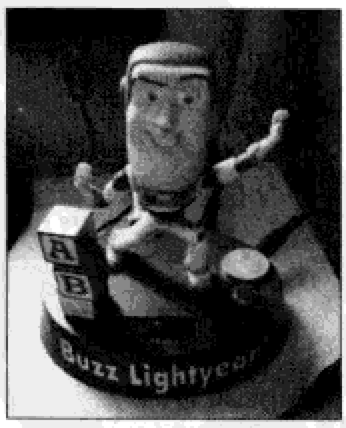
据BA1IO讲，这个玩具是当初女友送给他的定情信物，由太阳能电池供电，脑袋可以不停地摇晃，煞是可爱，如今女友也取得了呼号。崔老师从取得套件开始就有这样的构思，将自己亲手DIY的作品与女友的心意融为一体，赋予了这件作品更多的内涵。笔者在完成制作后与BA1IO/QRP崔老师的通联也具纪念意义，因为这是两条新版“章鱼”第一次实现了空中握手，崔老师也将这次QSO录制成了视频，再一次证明QRP电台在传播条件具备的情况下做DX通联是完全可行的。

而从笔者收到的QSL卡上可以看到，2010年10月10日（3个10与其呼号的后缀IO相对应，真会挑选日子，呵呵），两位有情人将步入婚姻的殿堂，又一对火腿夫妻将踏上新的人生旅途，让我们一起为这对新婚的火腿夫妻送去衷心的祝福吧！

“以最小的投入，获取最大的乐趣，应该是DIY追求的境界之一。”卜老师的这句话就是对这款套件最好的诠释，期待更多的爱好者加入到DIY一族中来，充分体会DIY带给我们的乐趣。



BA1IO的QSL卡片



BA1IO“章鱼”配备的外壳

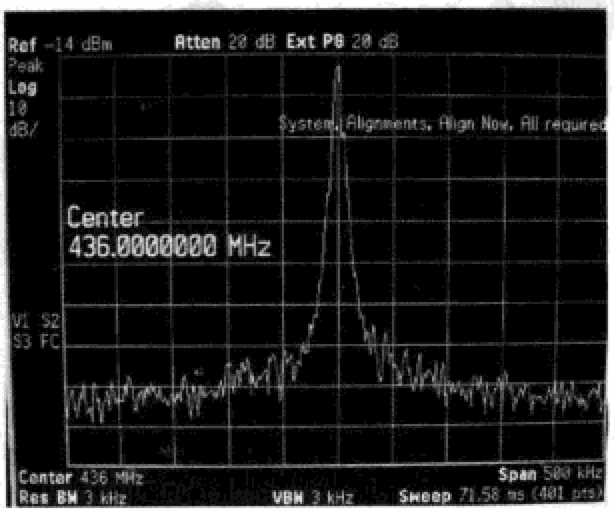
业余电台仪器实战系列 5

◎杨法（BD4AAF）

频谱分析仪使用攻略

频谱分析仪简称频谱仪，是用来显示频域信号幅度的仪器，在射频领域有“射频万用表”的美称。在射频领域，传统的万用表已经不能有效测量信号的幅度，示波器测量频率很高的信号也比较困难，而这正是频谱分析仪的强项。

频谱仪与示波器属于两种类型的仪器，示波器主要显示时域信号幅度的变化，而频谱仪显示的是频域信号幅度的变化。对于研究射频的工程师和爱好者，频谱仪是工作的好帮手，它可以形象地展示一定频率范围内信号的幅度，可以据此发现信号的存在和不同类型信号的特征。随着科技的发展，频谱仪也从传统的模拟线路进化到数字化频谱仪，被赋予更多的功能，以适应不断出现的复杂信号。



应用与意义

频谱分析仪在射频领域应用非常广泛。频谱仪最基本的作用就是发现和测量信号的幅度。频谱仪可以以图示化的方式显示设定频率范围内的射频信号，信号越强，频谱仪显示的幅度也越大。通过这种特性，频谱仪被用来搜索和发现一定频段内的射频信号，广泛应用在监测电磁环境、无线电频谱监测、电子产品电磁兼容测量、无线电发射机发射特性、信号源输出信号品质、反无线窃听器等领域。频谱仪可以测量射频信号的多种特征参数，包括频率、选频功率、带宽、邻道功率、调制波形、场强等。在射频信号的频率测量方面，虽然频率计是专业的设备，但遇到时分多址的信号（GSM移动电话、IDEN、TETRA的信号）、跳频的信号、宽带的信号，普通频率计无法准确计数，功率计无法及时测量，而频谱仪由于基于高速的信号捕捉，则可以有机会测量这些信号。针对这些常见的不稳定信号，很多中高档频谱仪还在测量软件上做了优化，提供专用的自动测量工具。

由于频谱仪具有图示化射频信号的能力，频谱图可以帮助我们了解信号的特性和类型，有助于最终了解信号的调制方式和发射机的类型。在军事领域，频谱仪在电子对抗和频谱监测中被广泛应用，不同类型的雷达信号、通信电台信号、应答机信号、“敌我”识别器信号都有各自不同特征的频谱图。在民用无线电管理领域，通过频谱图，我们可以及时发现非法使用的频率，这比传统扫描监听的效率要高得多。在不明干扰源的定位中，频谱图有助于判断干扰信号的类型，并推断出产生干扰信号的可能设备，以缩小排查范围。频谱仪还是一部很好的场强仪，具有比较大的动态，一些具有自动测量功能的频谱仪可以方便地读出目标信号的场强数值，同时可以显示目标频率周边的情况。实际应用中，有很多手持频谱仪就替代了场强仪。

有的频谱仪内置跟踪信号源，或者支持外接跟踪信号源，频谱仪与跟踪信号源配合使用，可以显示双端口网络的频幅特性，扩展了频谱仪的用途。该功能类似扫频仪和标量网络分析仪的主要功能，比普通老式扫频仪的精度要高得多，可以应用于滤波器的调校。如果频谱仪与跟踪源配合驻波电桥，还能直接图示化显示天线的匹配情况，具有天线分析仪的部分功能。

发展历程

频谱分析仪从发明以来，经历了模拟电路频谱仪、单片机程控频谱仪、电脑数字化频谱仪的发展历程。随着集成电路和微处理器电路的迅猛发展以及对信号测量要求的提高，频谱仪的工作频率不断提高，精度不断提升，体积和重量不断缩减。从早期巨大笨重的台式频谱仪，发展到广泛使用的便携式频谱仪，以及近年来现场应用越来越多的手持式频谱仪，频谱仪正向着数字化、高精度化、小型化发展。

老式的频谱仪为纯电路结构，早期的产品采用与示波器一样的示波管进行显示，通过快速扫描的接收机来形成频谱

图。这类频谱仪基本没有自动测量功能，测量信号幅度靠人工对照示波管刻度进行数数，功能单一，只具有频谱仪基本的频率扫描和幅度显示功能，且精度很低。目前在主流应用中已基本淘汰。

单片机程控频谱仪是通过单片机微处理器来控制的频谱仪，虽然从外观上看，最早期的数字频谱仪依然采用示波管显示，但增加了字符发生器电路，在仪器屏幕上可以看到一些设置信息，并具有了一些自动测量功能。随后，高性能的微处理器和频率合成器电路相继被引入，使得频谱仪的工作精度、分辨率和程控化水平得到显著提高。显示屏由示波管发展为CRT管，显示的频谱图是通过微处理器计算后形成的，并增加了很多数控和自动测量功能，屏幕上显示的信息一下子多了很多，频谱仪的分辨率显著提高到1kHz的水平，部分高端产品达到了1Hz级别。

现代的数字化频谱仪除了射频信号处理单元，其余部分基本都数字化了。很多附加的专项测量功能，如TETRA信号测量、GSM信号测量，都能以软件开通形式添加，显示屏改为彩色液晶显示，并且进一步缩减了频谱仪的体积和重量，扫描速度进一步提高，背景噪声和相位噪声也得到了进一步控制，频谱仪的性能提高到一个新的水平，这更有利于对微小信号的测量。

此外，新结构体系的实时频谱仪也全新登场，更有利于对瞬态的信号进行捕捉。

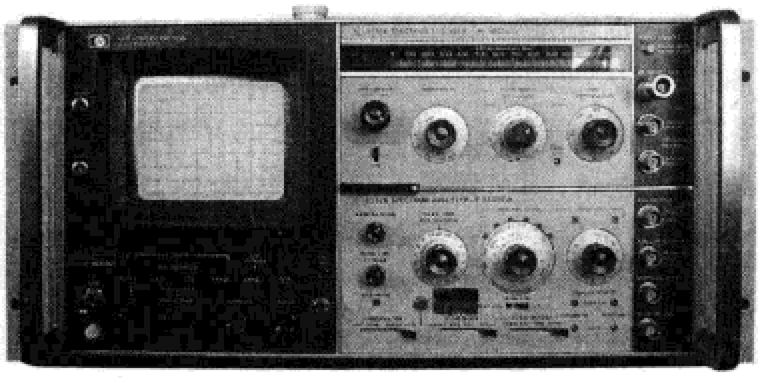
传统的频谱仪一贯比较笨重，比同年代的示波器重得多。很多大型台式频谱仪两个人都很难抬得动，即便是后期的HP8563E（CRT管型）之类，属于便携型的频谱仪，也有20kg重。随着液晶屏替代CRT显像管，以及仪器内部线路的进一步集成化，频谱仪的重量也有所减轻，如E4403B，重量在15kg左右。新一代的手持频谱仪成为现场检测中轻便灵巧的工具，新的N9340B装上电池的重量只有3.5kg左右，Rohde&Schwarz的FSH3仅重2.5kg。

性能与指标

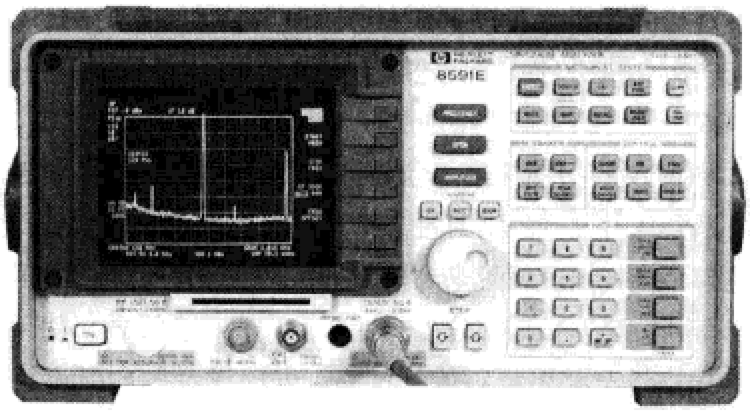
标志频谱分析仪性能和特性的主要指标有工作频率范围、分辨率带宽、频率扫宽、动态范围、扫描速度、端口阻抗、平均噪声电平、相位噪声、绝对幅度精度。

频谱分析仪的工作频率范围是指频谱仪最高工作频率和最低工作频率，标志着频谱仪可以显示频谱的最大范围。在射频应用中，用户往往更关心频谱仪的最高工作频率，这使其成为用户关心频谱仪性能的第一指标。

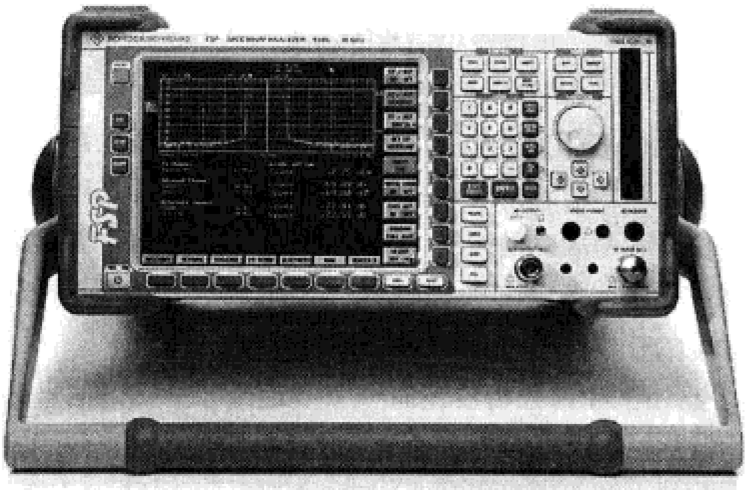
随着2.4GHz和5.8GHz频段应用的增多，通信信号使用频率不断提高，对频谱仪最高工作频率的要求也不断提升。早期的常规频谱仪工作频率最高在1~2GHz，当时看上去已



HP的早期频谱仪



HP经典频谱仪8591E



Rohde-Schwarz主流通用频谱仪FSP

Rohde&Schwarz手持频谱仪FSH系列

经很高了，而现在的频谱仪基本上都是从3GHz起步，工作频率高的可以达到50GHz，很多实验室都将40GHz的频谱仪作为标准配置。对于一些频率很低信号的应用也有对应专用的低频频谱分析仪，工作频率在10mHz~100kHz。

频谱分析仪的档次不仅仅取决于工作频率范围，信号显示的品质高低更关系到分辨率、带宽、频率扫宽、动态范围、扫描速度、平均噪声电平、相位噪声、绝对幅度精度等指标。分辨率、带宽与频谱仪对信号的解析能力有关，对于一些窄带信号，使用高分辨率更容易展现信号的特征。通常，高档的频谱仪分辨率基本可以做到1Hz水平，中档产品在100Hz~1kHz水平。高动态的频谱仪有利于信号的显示，并可以减小信号的失真，特别适合大小信号并存的情况。

频谱仪的扫描速度与仪器硬件处理性能有关，扫描速度关系到信号显示的实时性。绝大部分的频谱仪都属于扫频型构架，高扫描速度带来高刷新率，这对于捕捉偶发的信号更为有利。高速扫描处理能力使得用户有机会设置、使用更大的扫描带宽和更精细的分辨率，同时频谱图刷新不至于太慢。对于需要检测微小信号的应用，就需要低噪声的频谱仪，这对仪器的放大器电路和频率合成器以及基准都提出了很高的要求。对于很多小信号的测量，并不是只需加个放大器那么简单。

作为附加和扩展功能，硬件上主要有跟踪发生器、前置放大器、中频输出、通信端口。跟踪发生器主要是用来配合频谱仪显示两端口网络的频幅特性，前置放大器主要用来显示微小信号，多用在EMC/EMI中。在软件上，主要是授权一些功能的开放和附加测量功能的软件。

此外，频谱分析仪还有一个“近亲”——“信号分析仪（signal analyzer）”。通常，信号分析仪与频谱仪同宗同源，但具有更高的参数指标，更适合测量特定的复杂信号。

在同等级技术水平下，台式频谱仪的性能无疑是最好的。目前高性能的频谱仪和信号分析仪体积和重量虽有改善，但都还是很大，其提供的一流性能主要适合对复杂和瞬时信号进行精密分析和对新型数字信号进行测量。便携式频谱仪一般可以视为通用频谱仪，提供主流的性能，适合常规传统应用。手持式频谱仪提供尚可的性能，适合现场的快速检测和高移动性要求。

在业余电台中的典型应用

测量发射机的发射频谱和带外辐射是频谱仪在业余电台中的典型应用之一。

理想的发射机发出的射频信号应该仅为工作频率的信号，但实际上，由于电子电路的一些特性，发射机在输出主射频信号的同时还会输出一些谐波，典型的情况就是会在工作频率的整数倍频上出现谐波发射。例如，一部工作在7.050MHz发射的电台，多多少少会在2倍频14.100MHz、3倍频21.150MHz等倍数频率上发射。有兴趣的爱好者可以做一个简单的试验，用一部对讲机在145MHz上发射，同时在很近的距离用另一部对讲机在435MHz频率上接收（正好是2m波段对讲机工作频率的3倍），一定会听到145MHz对讲机发出的声音，这就说明存在倍频谐波发射。谐波的发射如果不加以控制，会无意中干扰其他的通信和电子设备工作，所以发射机在功率放大器的后级都设有低通滤波器，以尽量抑制高次谐波的输出。

国家对无线电设备的带外发射有严格的规定，杂波散射也是无线电管理局对发射机强检的必然项目。实际设备使用中，由于设备故障或者滤波器元器件老化等原因，都会引起发射机杂波增大。频谱仪是检测带外发射的利器，通过频谱仪的搜索功能可以检测到发射机的带外发射点以及每个发射点的输出幅度。对于自制发射机和功率放大器的业余电台爱好者，通过频谱仪，能有效调整末级滤波器，将带外辐射抑制到最小，同时将对主通信信号的影响降到最低。另外，在HAM自制电台时，频谱仪还能很方便地观察频率合成器输出信号的纯度。

有些具备跟踪信号发生器的频谱仪能够测量两端口网络的频幅特性，被很多业余电台爱好者视为调整带通滤波器和中继台双工器的理想工具（当然，使用矢量网络分析仪更好）。如果配合驻波电桥使用，频谱仪可以以图形曲线的方式显示出天线的频幅特性，这对制作天线十分有利。HAM可以借此迅速直观地了解DIY天线的匹配情况和带宽并加以修正，使用起来比单一驻波比表要方便多了。

实战操作

下文以业余无线电爱好者使用比较多的Agilent ESA-L系列频谱仪为例，介绍一下其简单的设置和使用。该款频谱仪属于目前国内市场上数字频谱仪的典型产品。

Agilent ESA-L系列频谱仪为典型新型数字化频谱仪，继承了HP频谱仪操作界面。

第一步，开机预热。E4403具有很强大的自动测量功能，可以显示频率和信号幅度。频谱仪外接功率衰减器，衰减量可以事先输入频谱仪，这样频谱仪在自动测量信号幅度时会自动加入运算，省得用户自己再做加减法。

第二步，设定中心频率，在E4403控制面板左上角按下“FREQUENCY”长条状按键，通过数字键盘直接输入频率数据即可。E4403频率设置有两种方式，一种是设置中心频率，另一种是设置扫描起始频率和结束频率，通过屏幕边上的软键可以选择。

第三步，设置扫描宽度，按下控制面板左上角"SPAN"长条状按键，然后直接输入扫描带宽即可。系统会自动选择适合的RBW和VBW分辨率，如果用户有特殊需求，也可以手动设定RBW/VBW。

第四步，设定参考电平幅度。按下控制面板左上角的"AMPLITUDE"长条状按键，然后输入参考电平（也可以使用控制面板上的飞梭调节），通过参考电平调节使得信号在频谱图上有较好的显示。

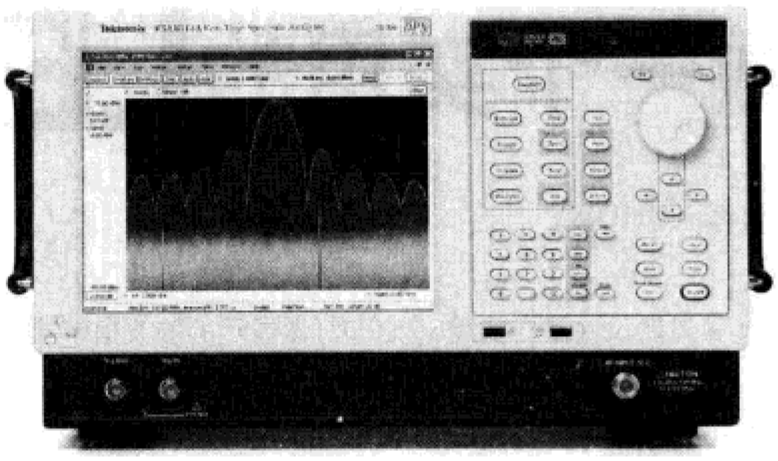
E4403的详细设定非常复杂，上面提到的只是最简单的基础设定。有时，做一些高级设定时会出现仪器表现异常的情况，此时可以按控制面板右上角的绿色"Preset"键恢复基本设定状态，然后重新操作。

频谱仪输入端口的功率比较小，一般最高输入功率不超过1W（30dBm），所以遇到像对讲机、短波电台等大功率信号时，需要使用衰减器来将信号等比缩减后再输入频谱仪。最容易损坏频谱仪的误操作就是将功率过大的信号直接输入频谱仪，导致频谱仪内部衰减器损坏。要知道中高档频谱仪价格昂贵，维修费用也非常高昂。对将频谱仪用于对讲机和小型短波电台维修检测的用户，建议在频谱仪输入端口前串联一个30～40dB的功率型衰减器。

为了有利于信号细节的显示和发现信号，尽量使用较小的扫描带宽和较高的分辨率（RBW和VBW）。合理配置外部衰减器，使进入频谱仪的信号幅度适当，因为较大的信号进入频谱仪容易引起显示失真。善用数字频谱仪的"MARKER"功能和测量功能，自动测量的数据会比传统"数格子"精确得多，也高效得多。例如，检测对讲机的高次谐波就可以充分利用频谱仪的ΔMARKER、CFSTEP功能和search功能。对于测量快速跳变不稳定的信号，如TDMA类型的信号，可以充分利用频谱仪"MAXHOLD（最大值保持）"功能捕捉出现的信号。

国内频谱分析仪市场

国际市场上最有名的频谱仪品牌是Agilent（以前为HP品牌）、Rohde&Schwarz、Tektronix。此外，日本的ANRITSU频谱仪性能也很不错。Agilent和Rohde&Schwarz是国内科研高端和主流商用选用最多的频谱仪品牌，它们作为国际顶级射频仪器厂商，都提供了丰富的产品线，既包括经济型的产品，也提供世界最顶尖科技的杰作。Agilent ESA-L和R&SFSL提供了经济型轻便的频谱仪，适合生产线和教育机构批量使用以及移动使用。尽管是经济型产品，但其综合性能也达到了很高的水平，是大部分国货难以匹敌的。Agilent ESA-E和R&S FSP提供中档频谱仪的性能，满足商用企业和产品开发的主流要求，而且对于这类用户价格并不是高不可攀。Agilent



Tektronix实时频谱仪RSA6000系列

PSA和R&S FSU系列提供了高端频谱仪的卓越性能，很多指标可以与一些信号分析仪媲美，适合作为科研和国防航天等尖端领域应用。Rohde&Schwarz的高端FSV和FSG系列信号分析仪提供了无与伦比的性能，特别对热门的WCDMA/HSPA、LTE、WiMAX、WLAN信号提供针对性的测量软件支持。在手持频谱仪方面，Rohde&Schwarz、Tektronix以及Agilent先后都推出了手持频谱仪产品。目前，国内市场上Rohde&Schwarz和Tektronix的FSH系列和YBT系列覆盖较多，广泛应用于流动性很强的现场检测和无线电监测领域。

实时频谱仪是频谱仪的新构架，其相对传统扫频式频谱仪有很多优势，几乎不会遗漏时间极短的瞬态信号，对快速跳变信号的显示与测量尤为适用，Tektronix就在大力推广其实时频谱仪。

实时频谱仪是一个技术发展新方向，Rohde&Schwarz也推出了自己的实时频谱仪FSVR，提供了40MHz的实时带宽。ANRITSU频谱仪虽为日本产品，但同样提供了世界主流产品的性能，并在价格方面有一定优势。ANRITSU的MS2711D是较早面世的手持式频谱仪，也曾经是应用最广泛的现场检测手持设备。ANRITSU现在主打的MS2723/2724可以跻身国际顶级手持频谱仪的行列。

国产频谱仪方面，安泰信提供了AT5000系列低端频谱仪，用户可以以非常低廉的价格获得初级性能的频谱仪产品，满足初级应用的基本需要。近期，以示波器在国内闻名的"普源"也推出了频谱分析仪产品，RIGOL以中档频谱仪应用领域为切入点，提供性能不错的RSA1030A频谱仪，在性价比方面，可以与洋品牌产品一较高下，也体现出普源在仪器领域的制造实力。中国电子科技集团第41所推出的频谱仪和信号分析仪在国内具有领先水平，尤其在一些高工作频率的频谱仪上具有相当的优势，已经有了40GHz的产品。41所的频谱仪产品系列比较多，包括有多种型号的手持式频谱仪，有些产品在功能上已经与洋品牌产品不相上下，可见国内科研院所在仪器制造方面具有深厚的底蕴。

做一个实用的LED驻波指示器

◎刘辉（BG1LQX）

笔者最近设计了一款用5个LED灯做显示的驻波指示器。这款指示器采用了射频窃电的方式，无需电源，体积小巧，重量轻，携带方便，非常适合业余无线电爱好者野外使用。指示器电路中的定向耦合器采用的是免调试的三磁环结构，采用通用运算放大器做比较器，比例电阻网络做驻波比值定标，用不同颜色的LED指示不同的驻波比范围。整个电路没有需要调整的元件，只要连接无误就可以正常工作。在短波范围内，不需任何校准和调整就可以使用，对于爱好者DIY非常简单方便。

工作原理

LED驻波指示器原理图见图1，该电路由3部分组成：定向耦合器，驻波比值比较器，LED灯显示器。

工作于短波段的定向耦合器有很多种，这里选用了无需调试的三磁环结构，其工作原理和制作已有很多文章介绍，这里不再重复。

由定向耦合器输出的正向信号，送到由R3、R4、R5、R6、R7、R8组成的分压网络，并将对应驻波比为1.2、1.5、2.0、3.0的分压比分别给4个运放的“+”输入。定向耦合器输出的反向信号，经R1，R2分压后同时送4个运放的“-”输入。

通用运放构成4个简单的比较器，当反射信号超过对应驻波比的正向参考值时，运放输出接近正电源的电压，当反射信号没达到对应驻波比的正向参考值时，运放输出接近负电源的电压。如果在4个运放的输出端接上指示灯，就可以显示>1.2、>1.5、>2.0、>3.0这4段驻波比值范围了，只要低于最大驻波比的指示灯都会点亮，但这种方式不利于射频窃电供电的情形，点亮的灯多，电流就大，射频损耗就将加大。在实际电路中，笔者采用了原理图中的LED接法，只点亮一个对应驻波比范围的LED，即增加了一段驻波显示，还减少了损耗。5个LED分4种颜色：1.0~1.2用绿色（本想用蓝色，但蓝色LED灯点亮需要的电压高，对最小功率要求相应就高，因而放弃了），1.2~1.5也用绿色，1.5~2.0用黄色，2.0~3.0用橙色，3.0以上用红色。实际使用中，只要看LED的发光颜色就可以判断天线驻波的大小了。

运算放大器和LED工作必须要有适当的电源，该电源供应来自于射频窃电电路。射频窃电电路由VD2、VD3、VD5、VD6、C3、C4组成，该部

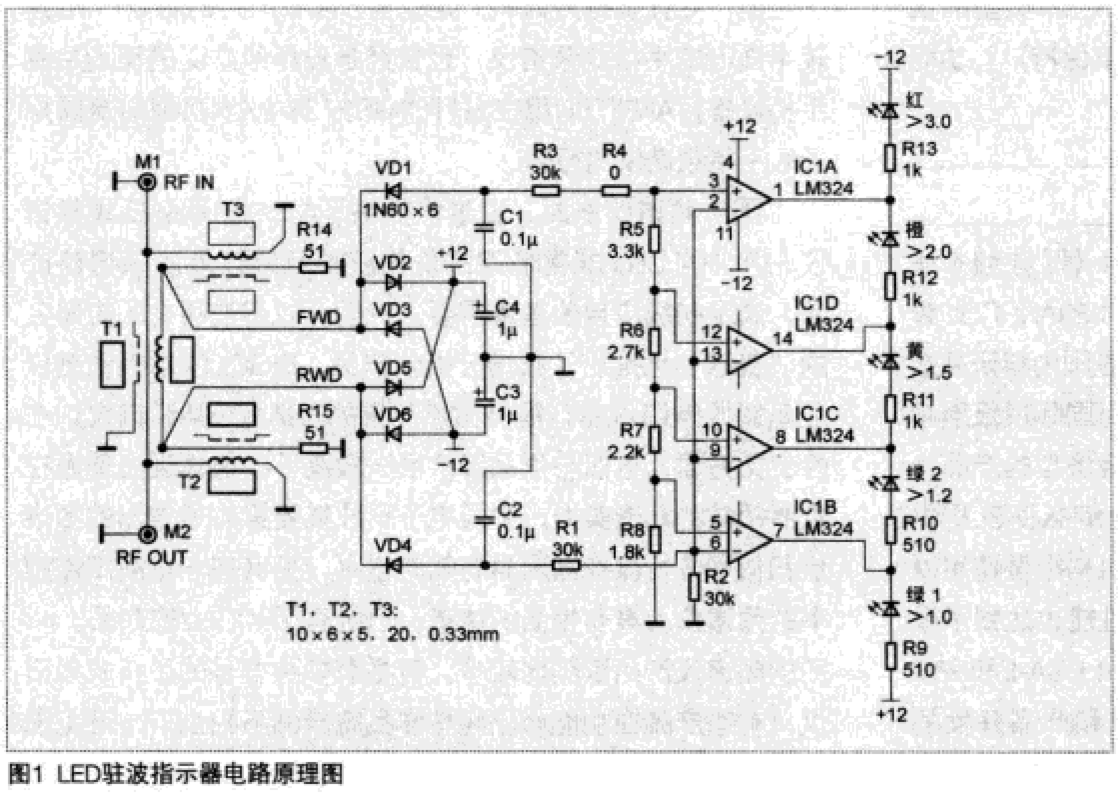


图1 LED驻波指示器电路原理图

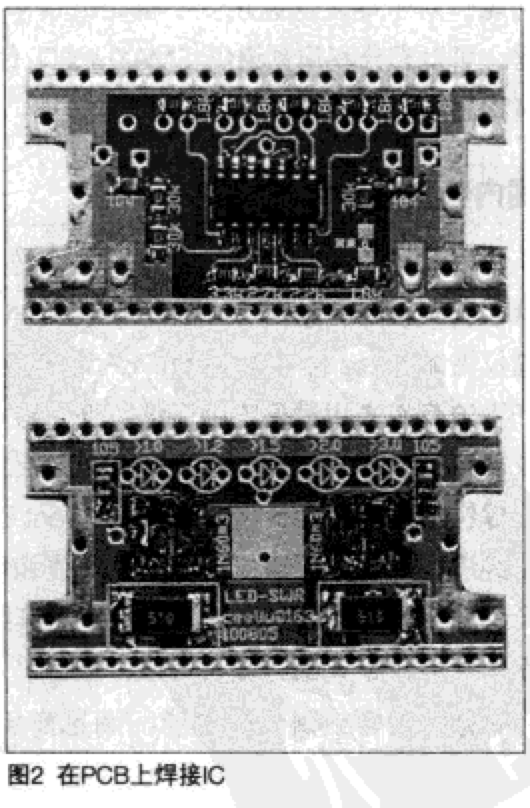


图2 在PCB上焊接IC

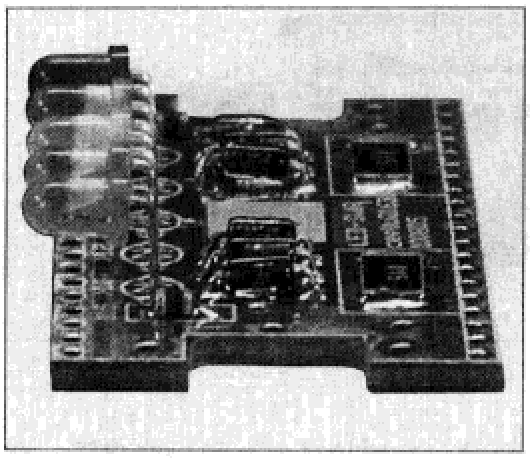


图3 PCB上焊接LED的那面

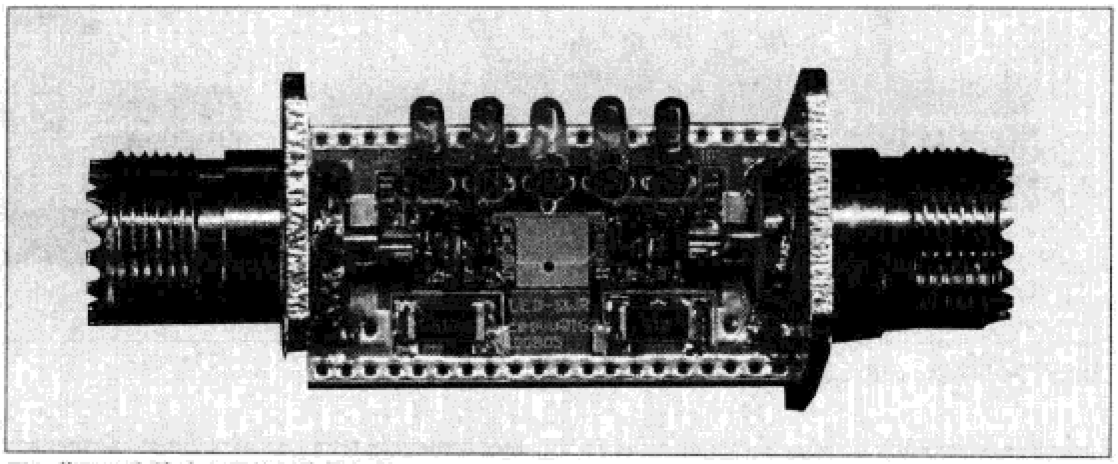


图6 将PCB和接头上锡的部位焊起来

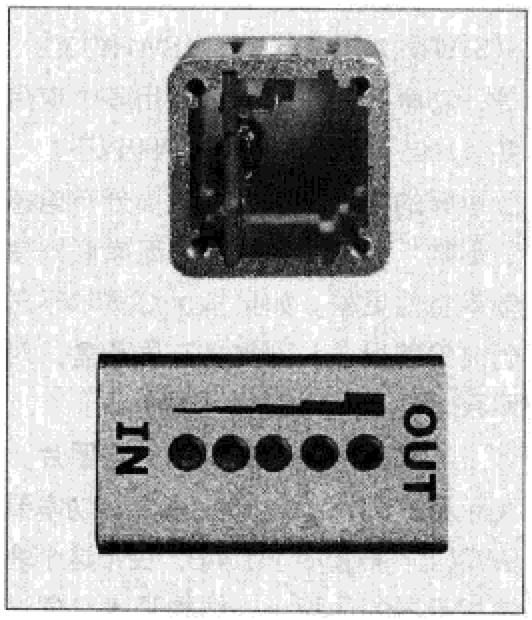


图4 将焊好的PCB装入屏蔽盒中

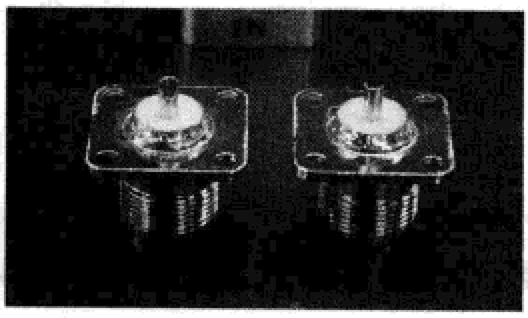


图5 安装于屏蔽盒两端的接头

分电路将来自于三磁环定向耦合器的正向信号和反向信号整流为正、负双电源，给运放IC使用。运放IC可以在±1.5~±15V的范围工作，所有的运算都是比值运算，与电压的绝对值无关，因此电源电压的变化，不会影响驻波比值的定标，只会对LED灯的亮度有较大影响。根据LED亮度的变化，我们也可以在一定范围内判断射频功率的变化。

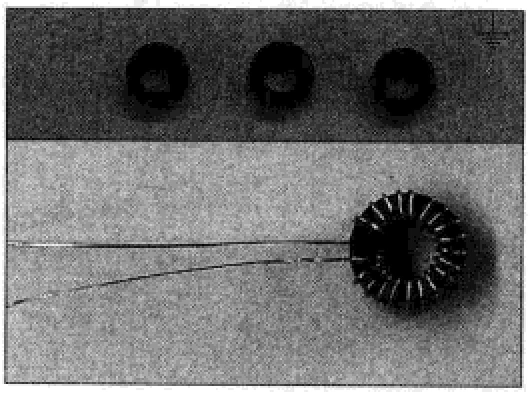


图7 绕指磁环

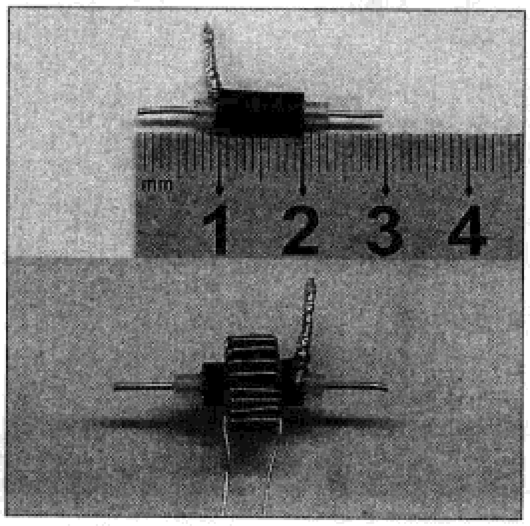


图8 将同轴电缆穿过磁环

制作过程

笔者将整个指示器装在了一个25mm×25mm×40mm的标准铝合金型材屏蔽盒内，结构紧凑。

笔者设计的PCB为双面，两面都有元件。一般先焊有IC的一面，要按照原理图和PCB的丝印将相应的元件焊好，不要有虚焊和短路，然后焊PCB另一面的51Ω的电阻和IN60，见图2。

将LED的引脚在距根部1mm处弯成直角，注意长脚为正，给LED引脚成型后，按需要的安装高度（引脚垂直长4.5mm）将LED焊好，并适当调整，排列整齐，见图3。

将焊好的PCB装入屏蔽盒中，见图4。将两个SL16-KF头法兰后的部分锉去镀层上锡，将接头安装于屏蔽盒两端，见图5。

打开后半个屏蔽盒，先将PCB和接头上锡的部位焊起来，再将前半个屏蔽盒也拆下，将LED灯侧的PCB和接头上锡的部位焊起来，见图6。

用直径0.33mm的聚胺酯漆包线，在10×6×5的镍锌磁环上穿绕20圈，共绕3个，绕向要一致、均匀，松紧适当，见图7。取50-3的同轴电缆3cm，按图中所示切割成型，穿于一个磁环中，见图8。

按原理图和图中所示将3个磁环焊好，其中电缆的屏蔽层只能单端接在接头外的导体上。用热熔胶将3个磁环固定。把屏蔽盒装回，并固定好接头法兰的螺丝。一个小巧精致的LED驻波指示器就做好了，见图9。

测试

只要组装无误，这个驻波指示器就可以正常使用，电路的IN端接发射机，OUT端接天线或负载，有发射就有灯亮（射频功率>5W）。为了验证驻波比指示的是否正确，可以使用假

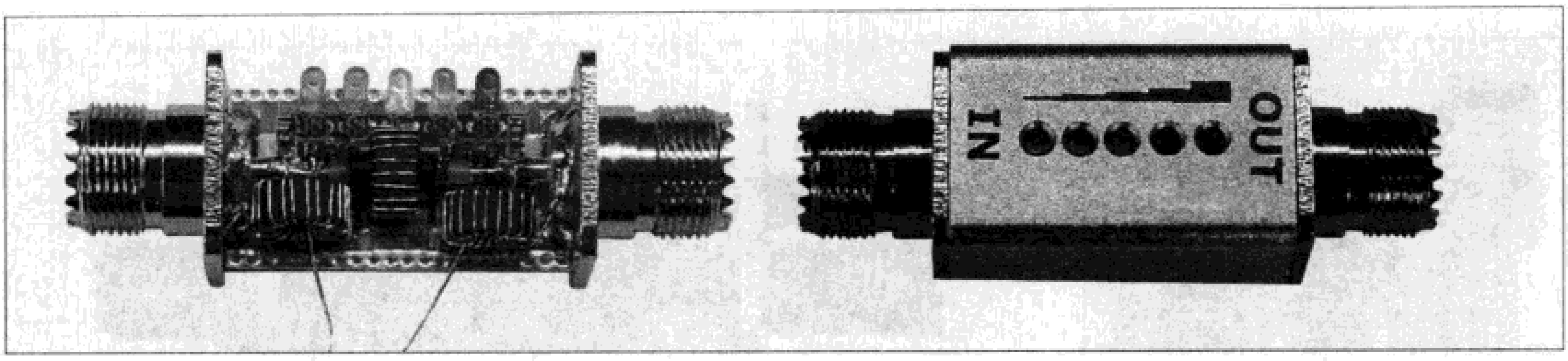


图9 安装好的指示器电路及外观

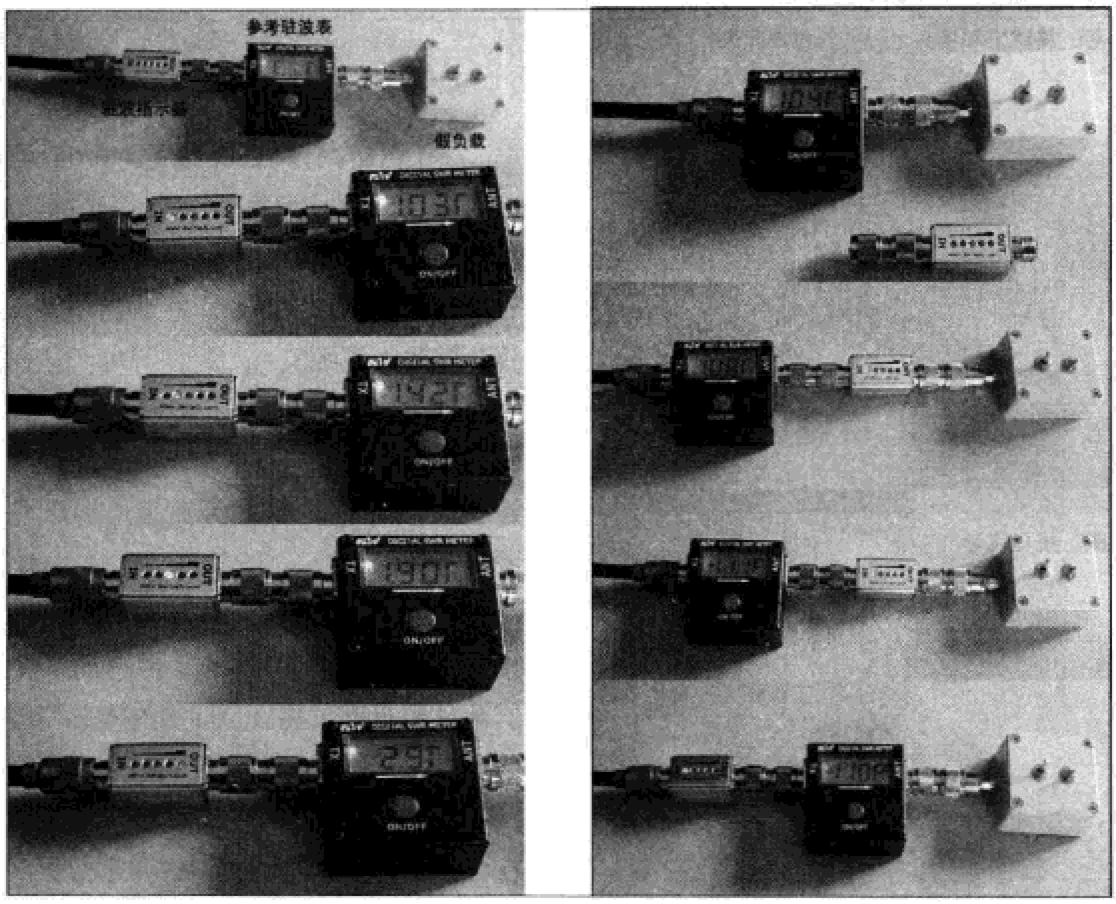
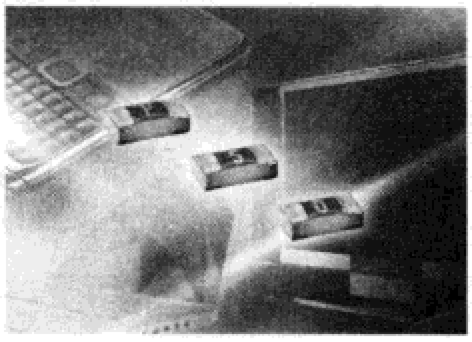


图10 实测图片

负载（SWR为1.0）和一些电阻，如68Ω（SWR约1.3），82Ω（SWR约1.6），30Ω（SWR约1.7），100Ω（SWR约2.0），16Ω（SWR约3.2）等，功率要大些，也可以用多个电阻并联，但不要串联。在20MHz以下，一般引脚的电阻并联可以减小分布电感的影响，改善高频响应，而串联则使频率特性更差。如果指示灯显示不正确或偏差很大，则需打开屏蔽盒，对照原理图，认真检查，排除错误。

图10是笔者测试时的一些照片。实际测试表明，最小的LED点灯功率要5W以上，插损小于0.3dB。由于这个驻波指示器的体积小，结构紧凑，建议最大功率不超过50W，其使用频率可以覆盖短波段和6m波段，如果耦合器做得好，高频端可以超过160MHz。

Vishay 推出新款厚膜扁平贴片式保险丝



Vishay 公司推出新款TFU 0603厚膜扁平贴片式保险丝，该器件在更小的芯片尺寸内提供了超快动作的熔断特性。其额定电流值高达4.0A，外形尺寸为91.55mm×85mm×45mm，可对DC-DC转换器、电池充电器和便携式消费电子设备中的低压电源提供次级侧的过流保护。

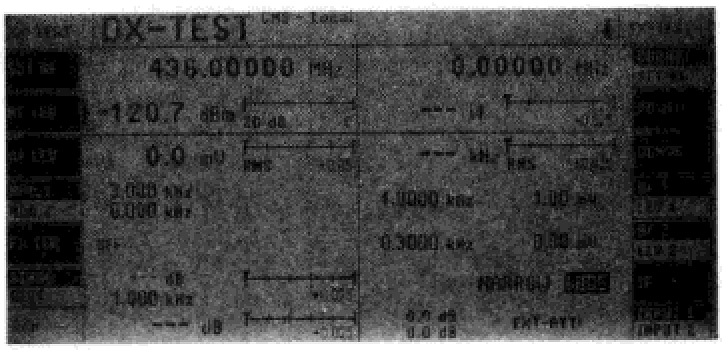
HIOKI推出一款AC/DC钳形表3288-20

HIOKI最新推出一款AC/DC钳形表3288-20。此机型在原3280系列上追加了真有效值测量功能（True RMS）来对应测量失真波形，最大可测电流为1000A。它是一款小巧、超薄的超轻机型，尺寸为57mm×180mm×16mm，重量仅150g，携带性优良。3288-20适用于UPS电池组和电动车用电机以及变频器/太阳能等的点检与维护。

业余电台仪器实战系列 6

◎杨法（BD4AAF）

无线电综合测试仪使用攻略



无线电综合测试仪是集多种射频仪器和常规电子测量仪器功能为一体的多功能仪器。综合测试仪通常会集成有频率计、功率计、射频信号发生器、音频信号发生器、调制度计、信纳比仪、数字电压表、失真度计等常规功能，有的还具有频谱仪、示波器、接收机、跟踪信号源、信令分析、模拟基站、专用测试模式等高级功能。由于综合测试仪功能多，往往一台仪器就能完成对讲机的发射和接收指标的检测和调校，所以它在业余无线电爱好者的心目中有很高的地位，颇有神兵利器的光环，很多业余无线电爱好者甚至认为，经过综合测试仪调整的二手对讲机就具有产品性能和质量的保证。本文中，我们来了解一下它的功能及使用。

常见功能概述

频率计：频率计数器可以测量发射机的载频实际频率，以了解载频误差。不同制式的发射机对载频误差的要求是不同的，例如，常规FM调频对讲机频率偏差1kHz问题不大，但是SSB单边带调制偏差200Hz，声音就明显变调了。综合测试仪的频率计功能与常规独立频率计相比多了自动误差计算功能，很多综合测试仪可以直接显示载频误差值，无需用户自己再做加减法，该功能对自动化测试和批量测试很有帮助。此外，有的综合测试仪支持对一些特殊的TDMA时分多址信号，如GSM、TETRA、IDEN、MOTOTRBO以及CDMA/WCDMA信号的频率计数，由于这些信号大多不是连续的，所以常规频率计无法对其直接测量。

射频功率计：综合测试仪的射频功率计功能类似终端式功率计（只能用于功率的测量，不能用来测量天线的驻波比）。目前主流的综合测试仪都是程控数字化产品，所以功率计的测量结果也是直接数字读出的，并且可以选择W或dBm等常用单位，免除了用户换算之苦。与传统指针式功率计相比，综合测试仪的数字功率计具有量程广、读数方便、单位灵活的特点，尤其在小功率的测量方面，比指针式驻波比功率计的性能好得多。此外，有的综合测试仪支持TDMA和CDMA信号的专项功率测量，这是常规通用功率计所不具备的功能。

射频信号发生器：这项功能是通过模拟实际空中信号的强度来测试接收机的灵敏度。为了能让接收机模拟实际使用中一样的接收信号，信号发生器除了提供准确的频率和幅度外，还需要具备相同的调制方式。综合测试仪的信号发生器支持多种调制形式，包括模拟信号和数字信号。常规的模拟信号调制是AM和FM，常用于测试模拟对讲机、收音机的接收灵敏度。对于数字信号则是各种专门的调制制式，如TETRA、IDEN、MOTOTRBO、GSM、CDMA、WCDMA、蓝牙等，有的需要网络支持的设备（如数字移动电话）还需要模拟基站通信功能。综合测试仪数字信号和专用信号的产生是普通标准信号发生器所不具备的。

调制度仪：这项功能用来检测调制信号调制特性。例如，常用的模拟调频对讲机可以利用调制度仪功能检测其调制频偏范围。FM调制度如果偏小，语音就会偏轻，如果调制度过大，语音就会发浑，同时也容易干扰相邻信道的信号。现在市场上独立的调制度仪已经比较少见了，所以测量对讲机的调制度一般都靠综合测试仪上集成的功能。

信纳比仪：这项功能用来检测音频信号信噪比。它主要配合射频信号发生器来测量接收机（这里指模拟调制接收机）在一定信噪比标准下的接收灵敏度。随着输入信号的逐渐减小，接收机输出的噪声逐渐增加，信噪比也随之降低，当信噪比劣化到预设指标时（一般对讲机灵敏度检测标准是*S/N*=12dB），信号发生器输出的电平就视为接收机的灵敏度。

频谱仪：用于显示频率和幅度关系。通过频谱显示可以了解信号的基本特征，包括占用带宽、频谱图等，并可用来检测发射机带外辐射和高次谐波抑制情况。频谱仪配合跟踪信号源可以检测两端口网络的频幅特性，用户可以借此来调

测滤波器、双功率等器件，配合驻波电桥还能用于测量天线的特性。

综合测试仪只是一个笼统的习惯性称谓，不同用途的综合测试仪的仪器配置功能会有不同，并不是所有综合测试仪的功能都是完全一样的。常见的综测仪有模拟信号综合测试仪和数字信号综合测试以及专用综合测试仪之分。模拟信号综合测试仪主要针对主流的常规模拟调制的对讲机和短波电台，频率测试范围大多在1～1000MHz，可以测量常规FM、AM、CW、SSB信号的收发信机，常见的HP 8920、R&S CMS50/52、马可尼2955/2966、IFR 2944/2945/2946、MOTOROLA R2600都属于此类。

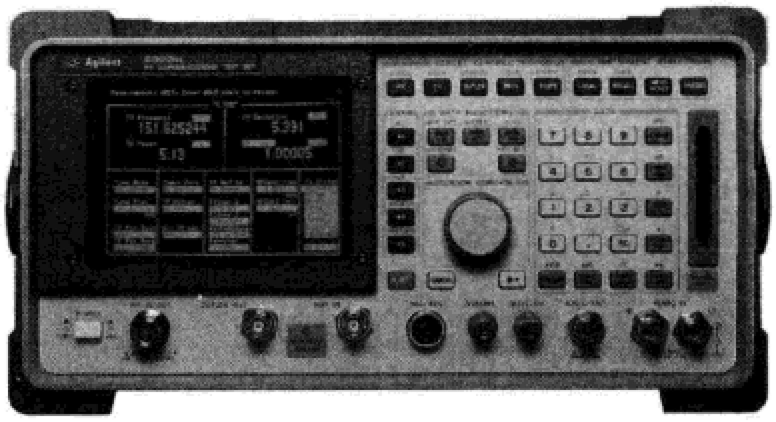
数字信号综合测试仪主要针对各种数字调制的收发信机和移动电话，因为各种数字制式彼此不兼容，特性也不同，所以很多数字信号综合测试仪通过选件插件板或授权软件的形式提供特定制式的数字信号测试功能。有的多功能数字信号综合测试仪也兼容模拟信号的测试，但非其主要功能。

专用综合测试仪一般指转为某一特定制式信号测试设计的综合测试仪，多为数字信号综合测试仪。专用综合测试仪虽然测试面狭窄，但针对性强，测试项目可以更为细致，整机也可以做得比较紧凑、轻巧，适合携带和现场测试，同时价格也比大而全的全功能产品便宜很多，非常适合生产线和维修部门使用。目前市场上针对TETRA、GSM、CDMA等调制制式，都有小型的专用综合测试仪产品。

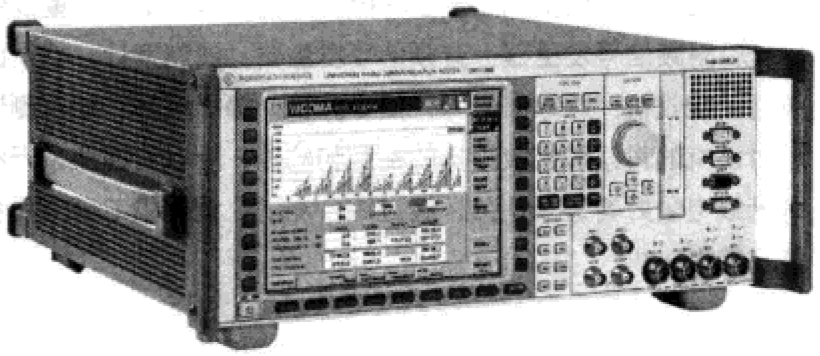
综合测试仪 VS 单功能仪器

无线电综合测试仪属于通用型多功能仪器，设计目标是满足对于收发信机的测试需求，并不是针对高精度仪器的设计要求，所以综合测试仪并不适合作为高精度计量仪器和标准仪器。综合测试仪的频率计、功率计的准确度都无法与高精度仪器（如Agilent 53131 E4418）相比。射频信号源输出的频谱纯度和相位噪声也无法与高精度信号源媲美。大部分综合测试仪的频谱分析功能和示波器功能也比较弱，以频谱分析功能为例，中档综合测试仪的频谱功能在扫描速度、低噪水平、分辨率、扫宽、测量功能上都与Agilent E4403之类的中档频谱仪有较明显的差距。如果用户需要对一些单项指标做精确测量或者校准其他仪器的话，应该选择专项高精度仪器。当然，综合测试仪作为大厂出品的正规仪器，性能要比业余无线电爱好者手头的一些价值几百元的简易仪器（如一二百元的频率计、指针驻波比功率计）精确得多。

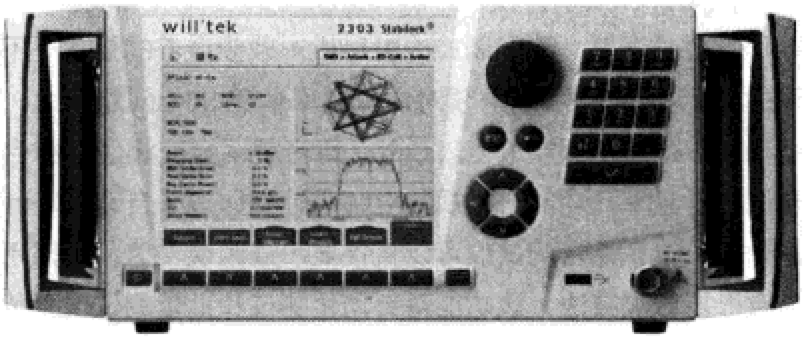
很多业余电台爱好者在购买综合测试仪都时比较关心是否包含频谱功能，因为独立购买一台中档频谱仪的价格并不比综合测试仪便宜。实际上，一般中档综合测试仪集成的频谱仪只相当初级频谱仪的性能，主要用于看看基本的频谱



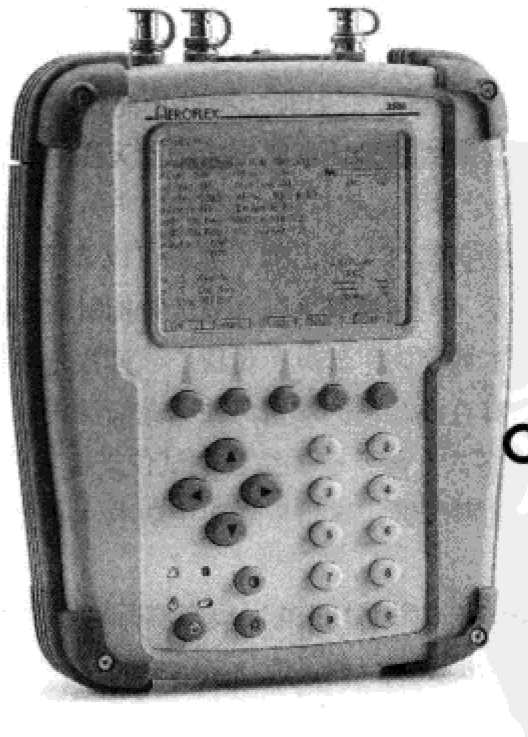
经典的HP 8920综合测试仪



主流多功能综合测试仪Rohde & Schwarz CMU300

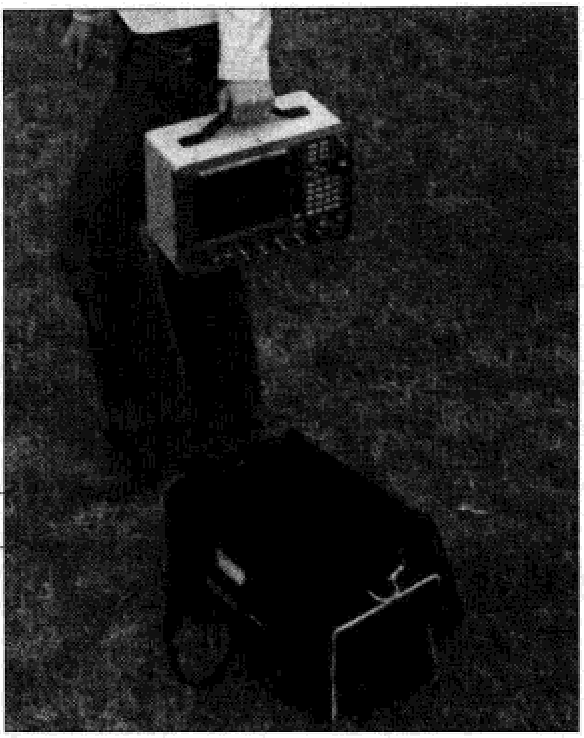


轻巧的TETRA数字集群专用综合测试仪



Aeroflex 3500系列手持综合测试仪

图而已。综合性能相比之下，即便是20世纪80年代HP 859X系列这类比较老式的频谱仪都能轻松胜出。所以，真正用频谱仪来从事精确检测和研发工作的朋友，建议还是需要购买真正的频谱仪。在无线对讲机和电台的实际调测中，一般都分别配置综合测试仪和频谱仪，用于维修和制作的还配上示波器。


General Dynamics R8000便携型综合测试仪

应用与意义

无线电综合测试仪提供了应用级的仪器性能，对于测试终端类通信电子产品（如对讲机、电台、移动电话）是绰绰有余的。综合测试仪的主要优势是提供了一个集成化多功能的测试平台，一台仪器就能完成对收发信机大部分基本参数的测量。由于是多种仪器的综合使用，有利于简化操作流程，减少误差引入的环节，提高仪器使用效率，而且利用微机程控，将多种仪器统一管理，协同工作，数据共享，可以实现一些自动化测试，同时也从一定程度上节省了测试成本。

很多新型的数字信号参数已经无法由传统仪器进行测量。在数字信号的测试中，新款综合测试仪更显优势。数字信号的测试要求和项目与模拟信号的存在诸多差异，很多数字信号标准都采用非连续性的时分多址模式，并且终端接收信号必须包含信令数据，这使得常规测试仪器无法对其频率、功率、灵敏度等常规参数进行测量，必须通过专门设计的综合测试仪对其进行测量。新型的综合测试仪对不同制式的数字信号做了针对性的优化，提高了测量精度和效率。例如，对于目前主流的TDMA体制的TETRA和MOTOTRBO信号，用常规的频率计和功率计无法准确地测量其频率和功率，必须使用专用的测试设备，有的综合测试仪和频谱仪必须附加选件或加载对应软件后才能进行准确的测量。

手持综合测试仪与轻便型综合测试仪

手持式和轻便型综合测试属于轻量级仪器，其主打特点是体积小、重量轻、功耗低，方便外出现场检测，很多产品都支持内置电池工作，深受现场测试人员的喜爱。典型的Aeroflex/IFR3500系列手持综合测试仪重量不到4kg，便携式的General Dynamics R8000为6.4kg，而传统的HP 8920A在16kg以上。Aeroflex 2303TETRA便携测试仪只有3.5kg，而传统使用的IFR/Aeroflex 2968TETRA测试仪则重达19kg。

试想一下，提着一台三四十多斤重仪器爬楼是什么样的感觉。这类轻量级产品在功能上依然强劲，提供了传统综合测试仪的主要测试功能。性能方面，限于体积，尤其是手持式仪器的性能，自然不能与实验室级的重型设备相比，但提供的性能也基本能满足现场快速测试的要求。手持综合测试仪支持直接输入的功率一般都比较小，大多在30W以下，测试功率比较大的车载对讲机或固定基地台需要附加外置衰减器。轻型便携式的综合测试仪性能已经可以做得比较好了，基本可以达到HP8920A传统经典机型的水平。

使用综合测试仪前应该对仪器的基本性能有个大致的了解，以防误操作对仪器造成损坏。最基本的是应该了解该仪器的工作频率范围、输入端口最大承受的功率，以及哪些端口是不能作为信号输入用途的。很多综合测试仪端口输入的最大功率限制都小于 100W。一般在输入端口都有警告标志，标明最大可输入的功率，在说明书上会进一步写明当最大功率输入时允许最长持续的时间，否则输入功率过大或者大功率输入时间持续过长都会引起衰减器、负载器过热，有可能会损坏仪器。如果用户要测试更高的功率设备，可以外接衰减器或者为综合测试仪安装高功率输入测试的选件（使用外置衰减器的花费会小得多）。对于一些大功率输出的发射机，如短波发射机和功率放大器，在接入综合测试仪前应该确认其功率输出的实际设定水平。对于业余短波电台，如果不确定当前功率的设定情况，建议先通过功率设定旋钮（菜单）将功率设定到较小水平后再接入测试系统，以策安全。有的综合测试仪有多个信号输入端口，除了主力的功率输入端口外还有天线输入端口（配合内部接收机之用），天线端口允许输入的功率很小，是不允许直接通过电缆连接发射机的。一般综合测试仪的大部分 BNC 接口都不能输入大功率信号，综合测试仪的主信号 I/O 端口多采用N 型 L16 接口。

实战综合测试仪

1. 综合测试仪测试前的附件准备

（1）稳压电源。用户要对电台和对讲机进行规范的测量，为了得到准确稳定的功率读数，都要求使用外部稳压电源供电，这样可以排除由于电池容量不足或老化造成的大电流输出电压变化直接影响功率输出的情况。为此，需要为不同型号的手持对讲机准备对应型号的借电板，如果没有成品可以利用电池盒进行改装。

(2) 测试连接线，包括射频电缆和音频电缆。射频电缆应该选用衰减小、线体柔软的产品，电缆不宜过长、过细（一般要求高品质低损耗 -5 或 -7 的电缆或专用的测试电缆），电缆两端连接器的类型应该与综合测试仪和发射机天线端口相匹配，尽量少用转接头，减少插入损耗。音频电缆主要用于将接收机的音频信号输入到综合测试仪中，以测定在规定信噪比下接收机的实际灵敏度。音频电缆的另一主要作用是将综合测试仪输出的标准音频信号输入发射机的话筒，以便检测发射机的调制特性。音频测试电缆如果没有现成商品，可以使用具有屏蔽结构的细电缆自制，或者利用对讲机的耳机话筒改制。

2. 综合测试仪的配置

在使用综合测试仪前应该对仪器进行配置设定，一般在仪器说明书中有详细的说明。通常需要设定频率计的计数精度，功率计、信号源等数值的单位（W、dBm、μV、dBμV等），信号发生器的调制方式（AM/FM调制形式及宽度）和调制音调频率，还需要进行屏幕显示测量项目的布局配置和语言选择等。

按照说明书，综合测试仪在正式工作前应该有充分的预热时间，使基准器件进入稳定期，这样能减少测量的误差。同样，被测的对讲机也应该预热，一般没有特殊说明，被测试对讲机应开机10分钟以上再测，这可以使对讲机内部的频率合成器工作趋于稳定，这样测得的发射频率误差等指标才与对讲机实际工作情况接近。很多朋友喜欢一开机就直接测量，此时仪器和被测对讲机都没有进入稳定状态，测量误差很大。

3. 对讲机的频率、功率测试

该测试属于发射特性测试。第一步，用测试电缆将对讲机的天线输出口与综合测试仪主信号I/O端口连接。注意，对讲机的输出功率应该小于综合测试仪承受的最大功率。如果测试对讲机发射功率过大，可以串入衰减器。第二步，在综合测试仪上选择TX发射测试模式，按下对讲机的PTT发射键，就能在综合测试仪屏幕上看到实际的发射频率和发射功率。如果是通过衰减器连接的，那么测得的频率数值不受影响，测得的功率数据应该算上衰减器的衰减量。大部分综合测试仪的频率显示有两种模式，一种是直接显示发射频率，另一种是预设参考频率，然后显示误差数值。对于要出检测报告的用户，显然后一种直接显示误差的数值更为直观。

4. 对讲机的调制度测试

该测试也属于发射特性测试。第一步，对讲机的天线输出口通过测试电缆与综合测试仪主信号I/O端口连接。第二步，将标准音频参考信号输入对讲机。将音频发生器输出端通过电缆连接到对讲机的“MIC in”口。参考音频可以来自单独的音频发生器，也可以利用综合测试仪的对应音频AF输出。第三步，在综合测试仪上选择TX发射测试模式，按下对讲机的PTT发射键，就能在综合测试仪屏幕上看到调制频偏的数值了。在很多对讲机维修店里，我们可以看到不少朋友嫌音频连接线麻烦，直接对着对讲机大声讲话，然后看综合测试仪上显示出来的最大数值，这样操作不够规范，测得的数据只是一个大概。

5. 对讲机的频谱测试

该测试属于发射特性测试。第一步，对讲机的天线输出口通过测试电缆与综合测试仪主信号I/O端口连接。第二步，在综合测试仪上选择频谱测试模式，并设置中心频率、span（扫宽）、VBW、RBW。对于常规FM对讲机信号，SPAN（扫宽）可以设为1MHz或300kHz，VBW/RBW可以设为1kHz或3kHz。第三步，按下对讲机的PTT发射键，就能在综合测试仪屏幕上看到频谱图，并可以适当调整参考电平，以便观察。第四步，将中心频率设置到测试频率的2倍频和3倍频处，测量这些倍频谐波的抑制情况。此外，还可以在主频发射周围使用较大的span（扫宽），观察是否有明显的带外辐射。限于很多综合测试的频谱功能比较弱，建议有单独频谱仪的用户将此项测试在专业频谱仪上进行。

6. 对讲机的接收灵敏度测试

该测试属于接收特性测试。第一步，将对讲机的天线输出口通过测试电缆与综合测试仪主信号I/O端口连接。第二步，用电缆将对讲机的音频输出（耳机输出或外接扬声器输出）与综合测试仪的信纳比仪的音频输入端口连接，并调节对讲机输出适当的音量。第三步，在综合测试仪的信号发生器上设置测试频率。第四步，逐步减小信号发生器的输出信号幅度，同时注意信纳比仪上信噪比数值的变化，当信噪比劣化到预设水平时，信号发生器输出的电平幅度就是对讲机的接收灵敏度。在很多对讲机维修店里，我们可以看到不少朋友嫌音频反馈连接线麻烦，直接靠耳朵听对讲机扬声器中的音频信号来判断信噪比，这显然不够科学。

7. 利用综合测试仪调整对讲机

利用综合测试仪调试对讲机其实并不神奇，在很多情况下与使用单件仪器是一样操作的。

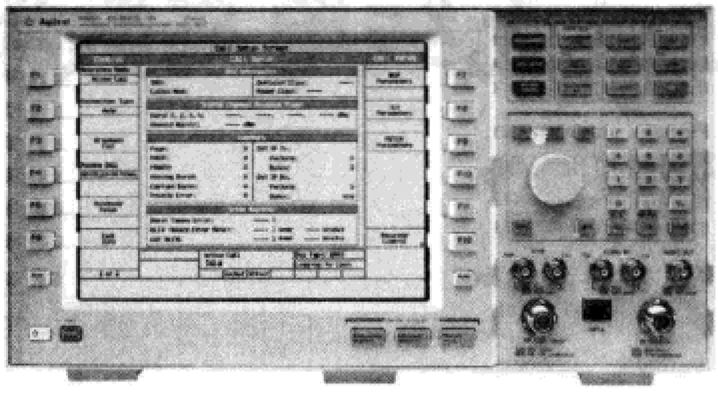
校准对讲机的载频误差主要用到综合测试仪的频率计功能。在充分预热综合测试仪和对讲机后，按上文中的方法测量对讲机的发射频率，对于误差较大的对讲机，需要修正其频率。按照不同设计的对讲机，一般有三种常规方式来修正频率。老式的对讲机一般在频率合成器参考晶体边有个小可调电容，用来补偿频率误差，小心转动该电容就能使发射频率升高或降低。现代对讲机都是单片机控制的，很多对讲机的频率修正都可以通过单片机指令来完成。对于主流业余电

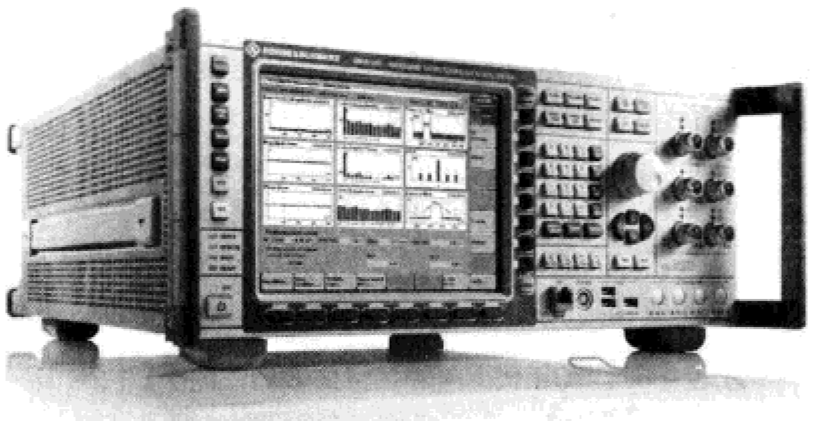
台用的对讲机，大部分都有工程调节模式，在特殊的菜单中可进行数据调整（进入工程调节模式的方法和对应的菜单在产品的维修手册中有说明）。现代专业对讲机大多通过专用调整软件来进行，有的产品的调整功能包含在写频编程软件中，有的则是独立的调整软件。

调整对讲机发射功率主要用到综合测试仪的功率计功能。用综合测试仪监视对讲机的实时功率输出，改变对讲机的功率控制就能调整对讲机的功率。不同设计的对讲机通常有三种常规方式来改变输出功率设定。老式的对讲机一般在功放单元有功率控制电位器，只要用螺丝刀旋转电位器即可改变输出功率。现代对讲机都是单片机控制，通过单片机指令即可修改输出功率。对于主流业余电台用的对讲机，大部分在工程调节模式的特殊菜单中有各挡功率设定的参数。对于现代专业对讲机，大多通过专用电脑调整软件来调节。

调整对讲机的灵敏度主要用到综合测试仪的信号发生器功能。很多业余电台用的对讲机自身具备信号强度表功能，给灵敏度调整带来了很大方便，不再需要通过信纳比仪测量信噪比变化来判断接收改善情况。让信号发生器发出一定强度的信号，调节对讲机接收槽路中对应的电容电感（有的对讲机在工程调节模式菜单中设有通带设定数据），使对讲机指示接收到的信号最强。如果出现信号表打满的情况，则进一步减小信号发生器输出幅度，使信号表指示回落后再调整。在目标带宽内采用多频率点统调，以保证整个频段都有较好的灵敏度。

不是所有的对讲机通过综合测试仪的简单调整都能达到理想状态。有的跨越设计波段工作的对讲机（业余电台中称之为“扩频机”）需要更换一些元器件，才能在新工作波段上保持性能。通过综合测试仪来评价一部对讲机的实际性能还是非常可靠的。


Agilent 8960 SERIES 10综合测试仪


Rohde & Schwarz CMW500宽波段高性能综合测试仪

适合个人使用的IFR 2944综合测试仪

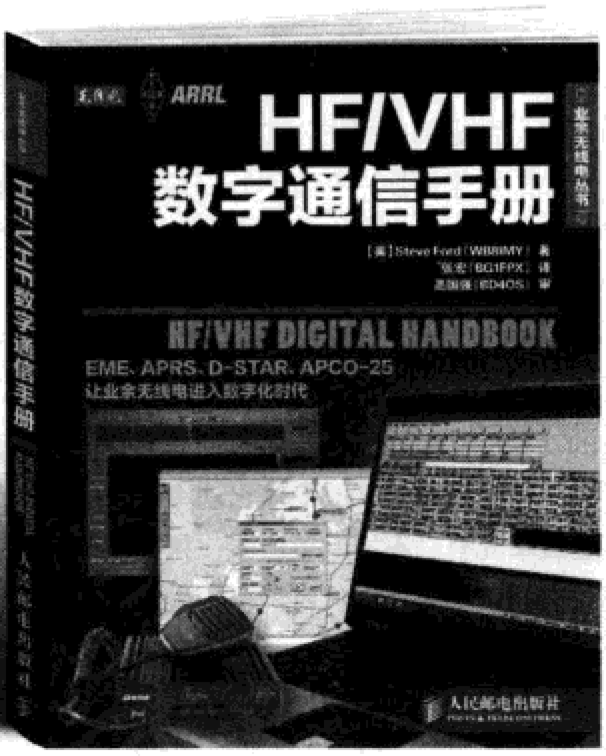
综合测试仪的品牌

Agilent/HP和Rohde & Schwarz是世界射频仪器的龙头企业，生产有最高性能的各类综合测试仪。Agilent综合测试仪目前的主力产品为8960系列，Rohde & Schwarz目前的主力产品为CMU200/300以及宽频段的CMW500/270。这些新型号综合测试仪都强化了数字信号方面的测试功能并且具有很强的扩充性。业余电台个人用户，主要用综合测试仪来测试常规模拟制式的对讲机和电台，所以一些老型号的产品，如HP 8920A、R&S CMS50/52，价格上比较实惠。HP 8920A虽然采用CRT显示，但惠普的产品结实耐用，性能可靠，故障率低，尽管属于20世纪80年代的仪器，但目前仍有不少单位在使用。R&S CMS50/52是最早采用大屏幕液晶显示的综合测试仪，使用起来人机界面感觉很好，综合性能优良。

Aeroflex与以前著名无线电设备生产厂家马可尼和IFR合并后，也推出了一系列综合测试仪，并延续了过去一些广受用户好评的产品。常规模拟无线电综合测试仪中，Aeroflex的2944B/2945B/2948B配置比较现代，采用大面积液晶屏，总体重量也控制得比较好，加上不错的性价比，广受国内用户好评。高端产品方面，Aeroflex提供有3920，支持目前模拟对讲机和多种数字对讲机制式。Aeroflex的3500系列手持式综合测试仪开创了同类产品中的先河，只相当于两台笔记本叠放的体积和重量，是需要便携手持检测设备的用户一个好的选择，就像手持示波器一样。此外，Aeroflex/IFR的多款TETRA综合测试仪也是目前国内TETRA相关测试中用到最多的。

业余无线电与数字通信

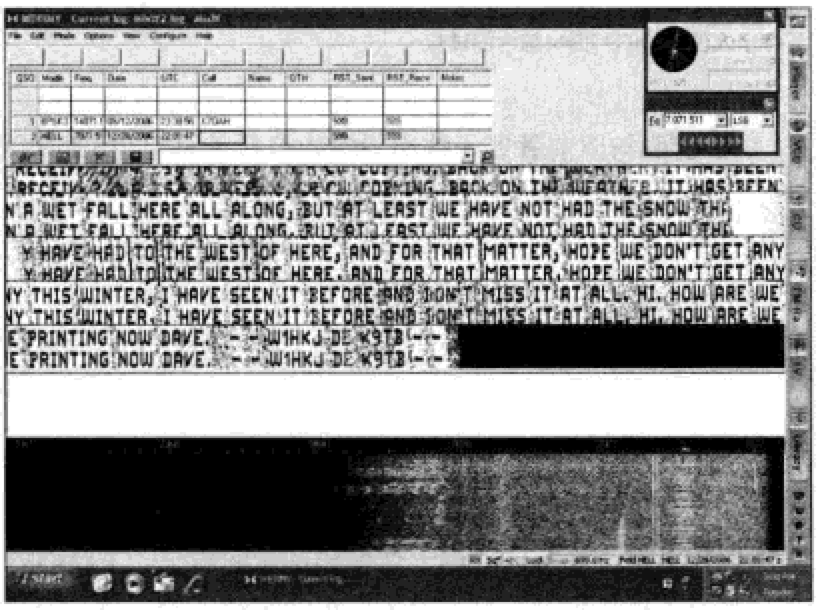
◎高国强（BD40S）



书号：ISBN 978-7-115-23885-6
开本：16开　定价：80元　页码：418页
全国各大书店及当当、卓越等网上书店有售

近年来，公众通信从传统的单一语音方式开始发展到现在的语音业务及数据业务平分秋色。如今，无线电通信也朝着同样的发展方向开始向更为先进的数据通信方式转变。实际上，早在无线电应用开始之初的莫尔斯码电报就是一种原始的人脑判决二进制数据通信方式，由此看来，无线电数据通信方式从来就没有离我们很远。

20世纪60、70年代卫星通信诞生之后，由于它能提供高可靠、大容量的全天候专业通信服务，无线电业务尤其短波通信一度备受冷落，处于低谷，直到20世纪80、90年代，随着高性能的微处理器技术、DSP(数字信号处理)技术以及大规模集成电路技术的飞速发展，加上无线电传播领域一些系统性的研究成果，在这些新技术和新体制的帮助下，短波通信克服了自身的缺陷，开始朝着频率自适应和网络化、自动化方向发展，各种速率的跳频电台从最初的军方应用开始普及到商业领域，不管是频率自适应的LQA/ALE(信道质量分析/自动链路建立)，还是网络化、自动化的信令及内容，都是基于本书试图阐述的各种各样的数据模式。换句话说，数据通信



Hellschreiber信号并不常见，但它的声音很有特色，很容易识别。以最常见的Feld-Hell信号为例，它的声音好像是刺耳的CW声。

是电台实现网络化和自动化的重要基础。不论是业余无线电爱好者还是专业用户，都可以从本书中学到现今流行的各种数据通信新模式，并能根据自己的信道状态和速率要求选择适合的数据方式。

有些读者认为数据通信比语音通信简单，这种认识是极为片面的。数据通信除了要解决模拟语音通信需要解决的所有问题之外，还要考虑由于短波信道的衰落色散特性、经过多径传输之后的衰落效应以及波形展宽导致的码间串扰问题。尤其是对于超远程通信以及没有优化的NVIS方式而言，在语音通信上表现为单纯的衰落效应，而对于数据方式来说，还要考虑码间串扰及电离层多普勒频移影响。这些都是数据通信工作者需要仔细权衡和解决的技术问题。

对于高速数据通信的大部分ARQ方式，比如PACTOR-III，没有接触过数据通信的读者需要注意引入“收发时间窗口”这个概念，类似我们日常生活中使用的GSM电话采用时分通信方式，在时间上都要保持严格的同步。

在极端环境和恶劣信道下的高健壮性极低速数据通信，能够在常规模式无法建立连接的情况下进行数据交换。根据国外研究提供的极低速数据信号样本，部分模式可以在SNR低至-35dB的极端情况下进行有效通信，这在模拟语音通信概念中是难以想象的。这时候，我们需要引入“能量替换信号强度”的概念，可以帮助理解极低速通信实现的原理和根据，在极端情况下完成通信工作。

由于短波通信具有一系列不可比拟的优点，架设简单、快速，成本低廉，具有抗毁性和顽存性等特点，在引入基于

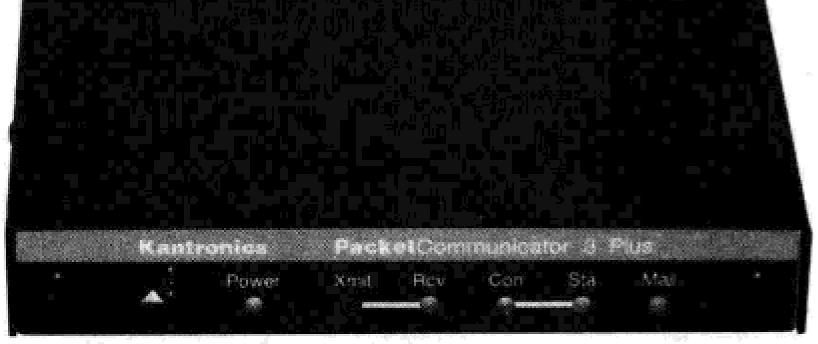
数据通信的各种技术之后，能从根本上解决短波模拟语音通信固有的缺陷。随着为数不少的国家开始具备ASAT能力之后，在卫星通信可能随时中断的情况下，使用短波组网建立数据链路，成为重要的备份手段。在美国，大量的业余无线电数据电台组成星型数据网，日常为有证书的无线电爱好者提供不间断的邮件及定位服务，紧急时刻可作为美国军方战备网MARS，同时也向美国国防部及美国海岸警卫队及人道主义组织（如美国红十字会）、联合国等组织开放。由于其中心数据库和节点都采用了高度冗余的架构，并考虑了局部网络中断的可能，因此整个数据网的可用性极高。随着近年来全球各地突发灾难和自然灾害的频发，如何在紧急情况下提供高健壮的不间断通信，国内的一些机构及NGO组织也开始了这方面的研究和建设。

在非营利组织中，由ARSFi建立的HF/VHF数据网曾在东南亚海啸、卡特里娜飓风、印度沿海气象灾难、智利/秘鲁天气灾害中发挥了相当重要的作用，并在INTELSAT-804卫星意外失效时提供了紧急数据通信支持。这个网络多年来持续为美国海岸警卫队及澳大利亚海事安全局以及其他国家的搜救工作提供通信协助支援，其每月处理的HF/VHF信件高达数万封，正在发挥着不可或缺的积极作用。

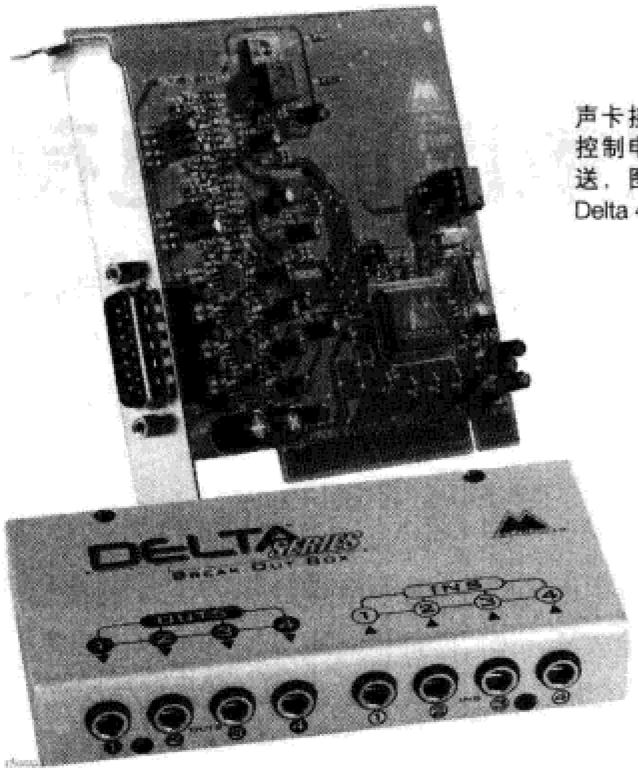
在商业领域中，提供可供各洋区自动漫游的短波数据网GLN被IMO（国际海事组织）推荐为新一代的海洋短波数据网，可以通过短波信道提供基于TCP/IP的E-MAIL服务和专业的TELNET、HTTP服务等。在笔者书写这个序言的时候，这个网络已经开始提供包括中国在内的全球数据服务。

VHF尤其是UHF以上的频段可以使用更宽的信道，因此可以提供完全媲美现在商业级的数据服务。在10年前斯洛文尼亚的一个组织就建成了贯穿全国的基于AX.25协议的最高达11Mbit/s的数据网络，以用于日常及紧急通信服务。

在很多数据通信网中，短波负责提供远程节点之间的链接，VHF/UHF数据设备则提供最后10km的接入，这样的结构让不同频段的设备发挥各自的优点，即短波的超远距离通信能力和超短波设备的轻便小型化相得益彰，组成一个既能达成局部之间能够相互进行数据交换，又能在需要的时候联通外界的互补数据网络，从而构建成一个高度灵活的HF/VHF综合数据应急网，在灾难发生的时候能够提供高可靠的不依赖于公众通信和卫星通信的独立数据网。



WL2K系统能让用户以无线电方式访问互联网，与家人、朋友和同事交换电子邮件，从VHF波段访问WL2K系统需要三种设备，分别是计算机、TNC和FM电台。在WL2K系统中收发电子邮件时，需要使用一个Windows软件AirMail，图示为AirMail支持的TNC之一：KPC3+。



声卡接口能让计算机控制电台的接收和发送，图示为M-Audio Delta 44高端声卡。

D-STAR协议是开放式协议，任何制造商都可以开发自己的D-STAR产品。目前唯一支持高速数据模式的D-STAR电台是ICOM ID-1。

本书也对HF/VHF数字化进行了相当篇幅的阐述，并对VHF数字化的常见制式进行了分析和讲解，在国内对讲机向着数字制式过渡的阶段，这些内容可以让读者了解到国外这方面的技术体制和进展。

需要提醒读者的是，本书是一本讲解无线电数据信息传输的读物，而不是数字化电台实现的技术手册。

由于本书涉及的部分专业术语有些在国内首次出现，翻译中考虑到了中国港澳地区的术语称谓习惯，尽量与之接近或吻合，以避免在汉语地区产生概念和名词上的混淆。希望本书能对国内的无线电数据通信产生一点积极作用，这也是译者和出版者莫大的欣慰！

高灵敏度正负电荷判别器

◎周宝善

这款正负电荷判别器可十分方便地检测物体是否带静电，并能准确判断物体所带静电是正电还是负电，判断结果以红色或绿色指示灯持续点亮方式显示出来，而不是瞬间消失，测试灵敏度极高，测试结果一致性非常好，绝不会出现误判现象，具有较高学习与应用价值。该设计曾获第29届北京青少年科技创新大赛科技辅导员科教创新项目一等奖、2009年北京市自制教具二等奖。

静电在生活中很常见，学校物理学摩擦起电教学、工厂防静电场所检测静电、家庭医院关于负离子浓度检测、商场织物摩擦带电推断织物物理性质（是羊毛？还是化纤？）等都涉及静电的检测。为此笔者设计并制作了这款高灵敏度正负电荷判别器。

静电的ABC

静电是一种处于静止状态的电荷，有统计资料表明：全球每年因静电释放造成的损失高达9亿美元，比如：静电火花可点燃某些易燃物体而发生爆炸。然而，静电也有许多好处：比如：静电可除尘、喷涂、植绒、复印、净化空气等。据百度百科关于负离子作用介绍可知：负离子被称为“空气维生素”，对人体及其他生物的生命活动有着十分重要的影响。问题是：如何检测物体是否带有静电，并判断物体带正电还是负电呢？

判断静电正负的方法

经文献检索发现，判断物体带正电或负电比较好的方法有：

1. 与正电相排斥，说明物体带正电，与负电相排斥，说明物体带负电。

2. 将氖管一端接触带电体，另一端接地，若辉光发生在接地端，则判断带电体带正电；若辉光发生在带电体端，则判断说明带电体带负电。

3. 根据正电荷流入NPN复合管b极，ce导通，正电荷流出PNP复合管b极，ec导通特性判断，如图1所示。实际应用中，还需加延时电路与互锁电路，原因是：复合管导通时间很短，当带电体靠近探头时，因抖动可能会造成NPN与PNP复合管交替导通，从而导致检验失败。

4. 根据正电荷流入N-MOS管G极，DS导通，正电荷流出P-MOS管G极，SD导通特性判断。

据方法4，笔者设计了一款正负电荷判别器，电原理图见图2，印制电路板图见图3。

工作原理

由图2不难看出，这款电路结构极其简单，设计十分巧妙，采用MOS管G极探测带电体电场，实测性能效果远优于三极管，使用稳压二极管保护MOS管，不用担心MOS管被高压静电击穿，使用六脚带锁按钮开关，按钮按下后电路处于工作状态，再次按下按钮，电路处于复位状态，从实测结果上看，电路处于完全断电状态。

核心元件参数见附表。

据MOS管结构可知，MOS管G极与S极之间存在寄生电容。

当正负电荷判别器探头P1+靠近带正电的物体时，探头P1+上感应正电荷将流入G极， 如图4所示，G极与S极间电容被充电，两端电压升高，当GS极间电压大于MOS管导通电压，VT1将导通，红色指示灯将发光。对于探头P2-的分析与上述类似。

使用方法及注意事项

做好的正负电荷判别器实物如图5所示，由红色探测引线、黑色探测引线、按钮开关、红色和绿色指示灯、仪器外壳、3V电源及相应电路组成。使用时按下按钮开关，将红色探测引线靠近带电物体，红色指示灯点亮，

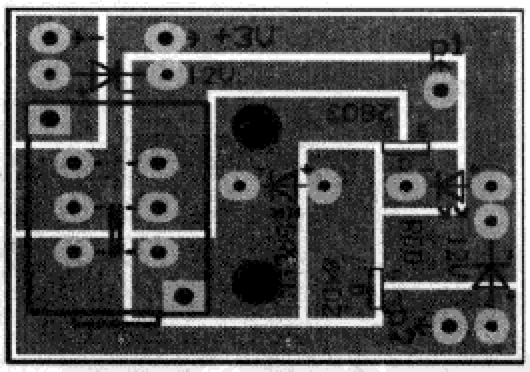


图3

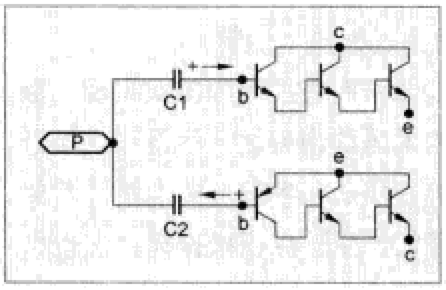


图1

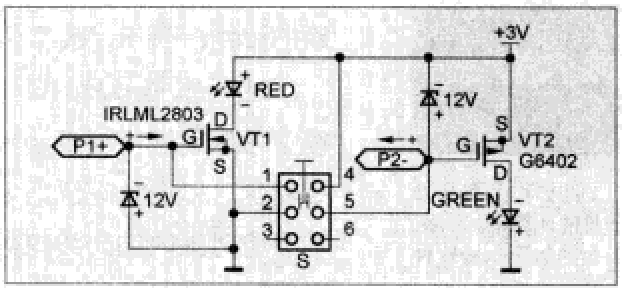


图2

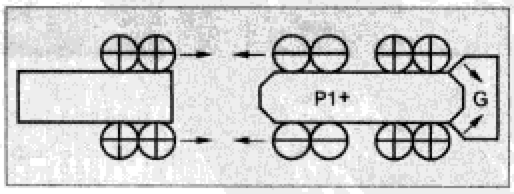


图4

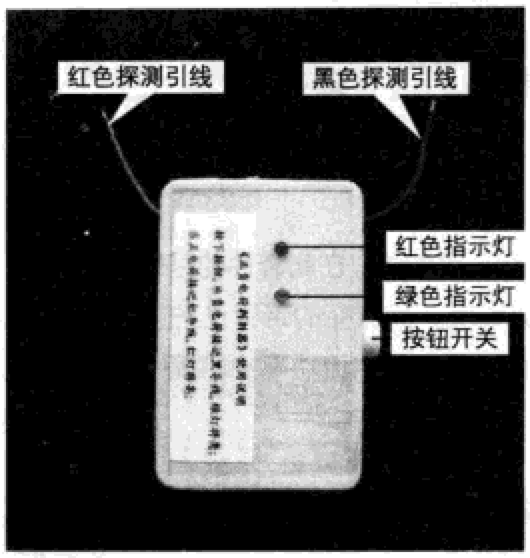


图5

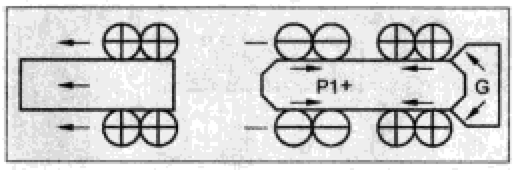


图6

说明物体带正电，如红色指示灯不发光，将黑色探测引线靠近带电物体，绿色指示灯点亮，说明物体带负电，如红色和绿色指示灯都不发光，说明物体不带电或带电微弱，或正负电荷判别器电路出现故障。松开按钮开关，检测结束。再次按下按钮，即可开始新的检测。

附表

	V_{DSS}	$R_{DS(on)}$	I_D	$V_{GS(th)}$	元件封装	元件脚摆列
IRLML2803	30V	0.25Ω	1.2A	1V	SOT-23	D TOP 2803 G S
G6402	-20V	65mΩ	-4.2A	-0.5V	SOT-23	D TOP 6402 G S

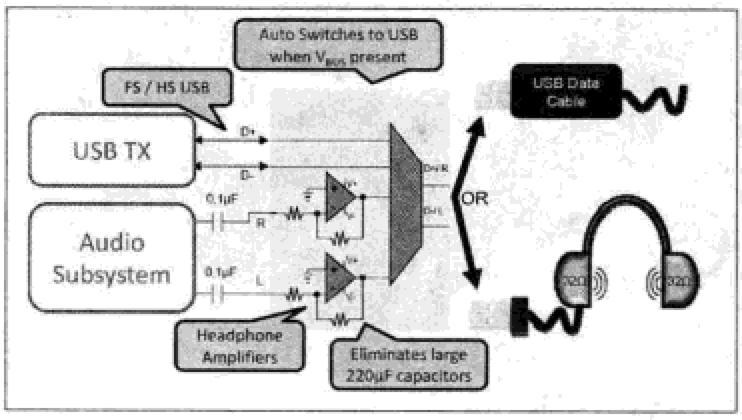
注意每次检测结束，必须松开一次开关，方可开始新的检测，如果不即时松开开关，探头快速远离带电体，便会出现红色指示灯突然熄灭现象，甚至于观察到绿色指示灯被点亮现象，这中间的一些复杂电学过程，对于初学电学的人来说，可能较难理解。下面说明一下：

当正负电荷判别器探头 P1+ 缓慢离开带正电的物体时，探头上感应正电荷将缓慢流出 G 极，如图 6 所示。G 极与 S 极间电容被缓慢放电，两端电压缓慢下降，很可能 GS 极间电压没有降低至小于导通电压 $V_{GS(th)}$(1V)的状态，故 VT1 仍将导通，红色指示灯将持续发光。

当正负电荷判别器探头P1+快速离开带正电的物体时，探头上感应正电荷将快速流出G极， 如图6所示，G极与S极间电容被快速放电，两端电压快速下降，很可能GS极间电压降低至小于导通电压$V_{GS(th)}$（1V），故VT1将瞬间截止，红色指示灯将突然熄灭。

飞兆半导体公司推出集成式 USB 开关 FSA2000

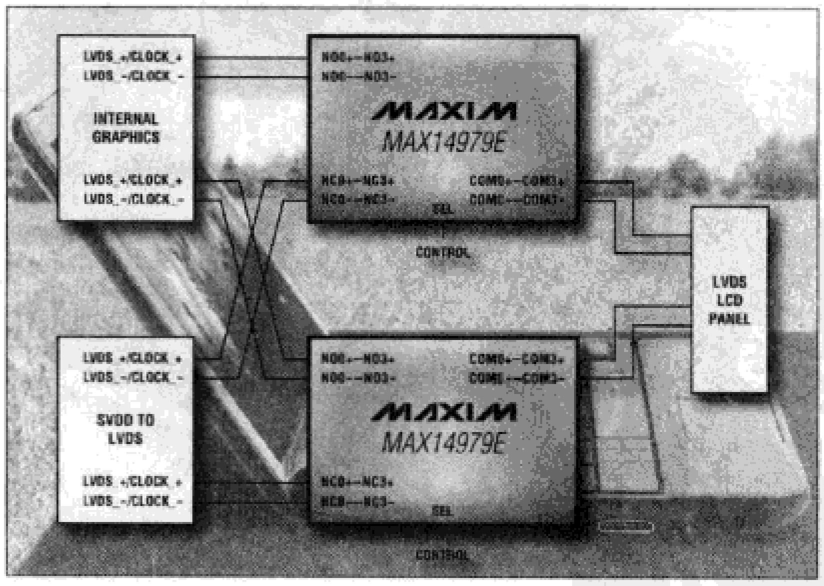
飞兆半导体公司推出一款集成无电容耳机音频放大器的自动选择高速USB开关FSA2000。该开关集成了一个AB类无电容耳机放大器的可兼容USB 2.0 全速（FS）和高速（HS）开关，带宽超过720MHz，省去了附加元件以节省电路板占用空间，非常适合USB端口隔离、连接器共享和信号多路传输应用。



登录飞兆半导体官方网站: http://www.fairchildsemi.com可申请免费样品

Maxim推出最新高速无源开关

Maxim推出用于高速LVDS信号切换的无源开关MAX14979E，支持图形切换设计。器件具有极低的导通电容（8pF，典型值）和导通电阻（4Ω，典型值），最大程度地减小了回波损耗和插入损耗，能够在较高的数据速率下保持信号完整性。此外，器件的所有引脚均具有±15kV ESD保护（人体模式），无需外部保护元件。MAX14979E能够切换4路高速LVDS信号和3组AUX信号，可用于在笔记本电脑与外部监视器之间切换LVDS信号。



采用套件组装的多功能电子测量仪 上

◎林芝松

笔者通过网上购得了“电感电容频率表”套件和“电压电流功率电阻表头”套件各一套，见图 1。在此套件的基础上增加了一些功能电路，配上电源和外壳，通过精心调试和校正，组装了一台多功能电子测量仪。其漂亮的带背光的蓝底白字液晶显示屏让人赏心悦目。图 2 是组装完工的整机，面板的左边是电感电容频率测量表，右边是电压电流功率电阻表。现将组装调试过程介绍如下，与爱好者共同探讨。

电感电容频率测量表

据资料介绍套件主要是由写好程序的单片机集成电路AT89C2051、双电压比较器LM393、12MHz晶体、三极管、二极管和电阻电容等元件，安装在80mm×36mm丝印有详细元器件参数的PCB板上，通过接插件与蓝底白字的1602液晶显示屏连接。主要参数如下：

电感量程：10μH～20H，偏差小于5%；

电容量程分2挡：1：10pF～10μF，2：1～70000μF，±5%；

频率测量：理论上为0～500kHz，±几个Hz，因没有施密特触发电路，对于输入信号有一定要求，仅用来测量共模干扰小的理想波形。

一、组装

按照PCB板上丝印的元器件参数对号入座焊接相关元器件，因为焊盘较小元器件排列较密，认真焊接完电路板后还检查了一遍各个焊点。

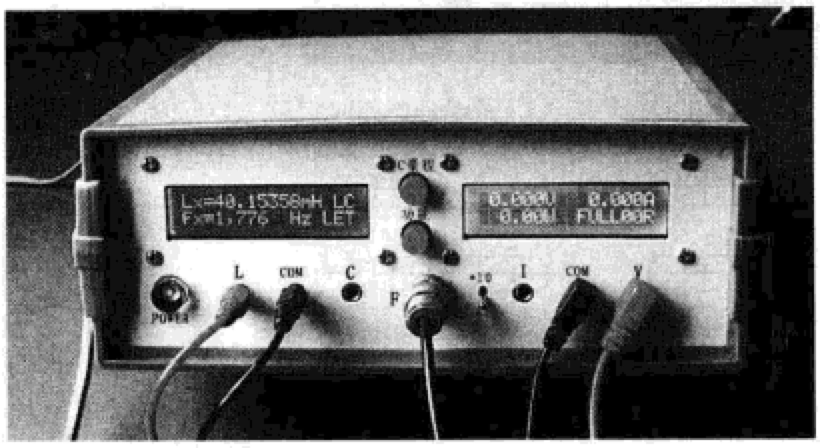


图2 组装完工的测量仪

1. 电源

本套件采用+5V电源供电，经测试后知道工作电流约为100mA左右。笔者利用VCD机拆机电源板经改造后配上8W交流10V的电源变压器组成了+5V电源。电源板在改造时就考虑到是供给测量仪表用，所以采用双稳压和多个电容并联滤波，尽量保证电压的稳定性、降低纹波系数。10V交流电经桥式整流，滤波后先经过7808稳压滤波后输至7805再次稳压

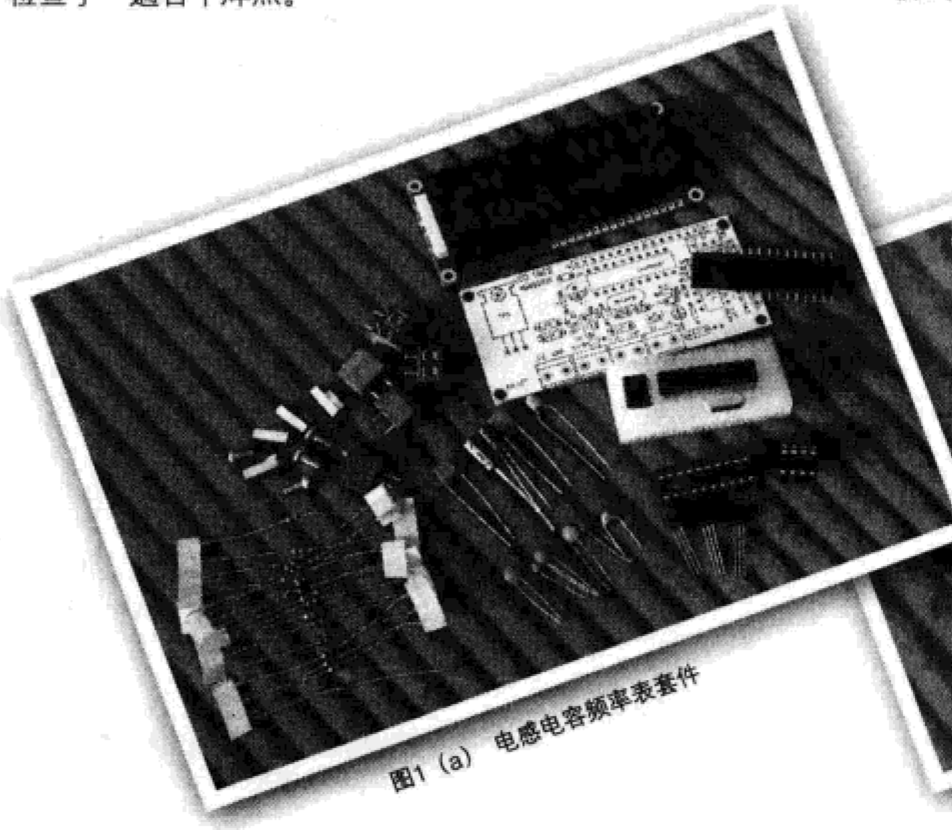


图1（a） 电感电容频率表套件

图1（b） 电压电流功率电阻表头套件

滤波，然后分2路供给左右仪表。经改造后的电源板见图3。

2. 外壳

同时又找来了一个以前邮购的塑料仪表箱和一些元器件与材料，如电源开关、按键开关、扭子开关、BNC插座、敷铜板等，并用外径6mm、内径4mm的紫铜管加工了6个测量插座（其中3个是用于电压电流表头的）。

3. 排除干扰

经一番折腾总算安装就绪，检查无误后通电测试，发现受干扰严重，数字跳个不停，尤其是电容挡。针对问题采取了如下几个措施：一是拆去4个接线柱（8个端口），电源输入和各项测量输入直接焊接在测量电路板的相应焊盘上，避免因接线柱带来的接触不良和引入的干扰，拆去用于调节屏幕字符对比度的微调电位器（5kΩ），直接用1kΩ电阻焊接在中间脚的焊盘与“地”端之间。二是拆去78L05稳压集成电路，在其输出端与“地”端之间接一只220μF的滤波电容。三是在电源板与测量电路板之间增加了由镀锌铁板与敷铜板组合的复合屏蔽板。四是理顺“地”线，一点接“地”：测量电路板、面板内衬板（由敷铜板加工而成，按键开关、扭子开关、测量输入插座等都焊接其上，见图4）、复合屏蔽板、推杆支架等各焊接单独的地线汇总于电源板的滤波电容“地”端。经此处理后，干扰小了许多。

二、调试

先准备用于比对的仪表，如电感电容测量表、数字频率计、数字万用表（下文都称为标准表），信号发生器等，再准备若干个各种数量级电感器和电容器。经过初步测试对比，组装的测量仪达不到资料所介绍的测量精度，电路板上无可调元件，单片机IC的程序是固化了的，怎么办？笔者只得花了些时间，照电路板绘出电路原理图，见图5。从电路图上可看出：电感测量的前置电路是由IC1a（1/2LM393）及周边的电阻电容组成。另一半LM393和周边的元器件构成了电容测量前置电路。频率信号是经9014放大后输至AT89C2051的9脚。影响测量的结果不仅与LM393周边的电阻电容有关，还与单片机的时钟频率12MHz的准确度密不可分。电感电容和频率的测量的数值都是单片机IC2内部运算的结果，固然与程序、算法有关，而单片机在运算过程所依据的标准还是其时钟频率。所以首先从频率测量的调试入手。

1. 频率测量的调试

该仪表频率测量的输入电路为由一个三极管（9014）构成的放大电路，如同资料介绍的那样仅能用来测量共模干扰

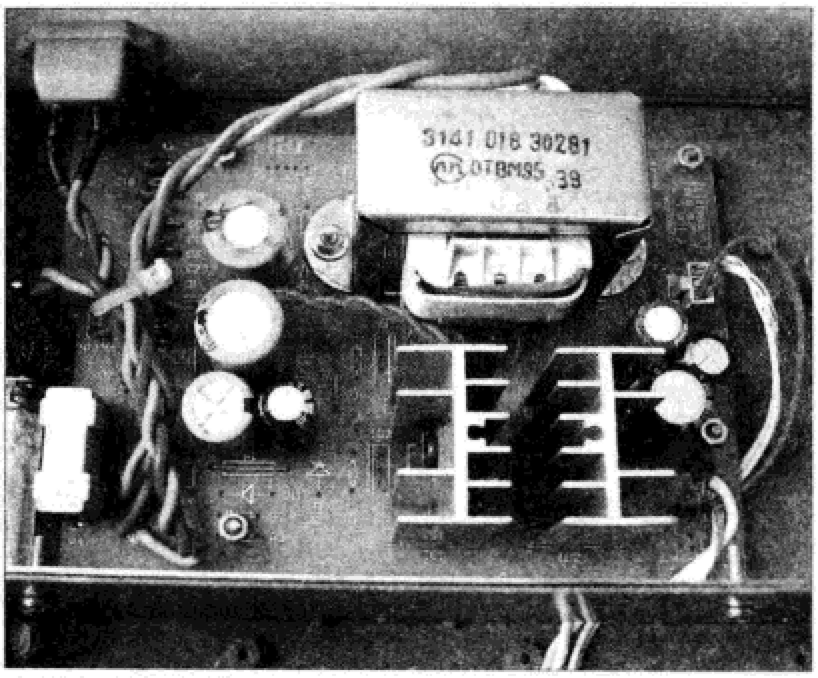
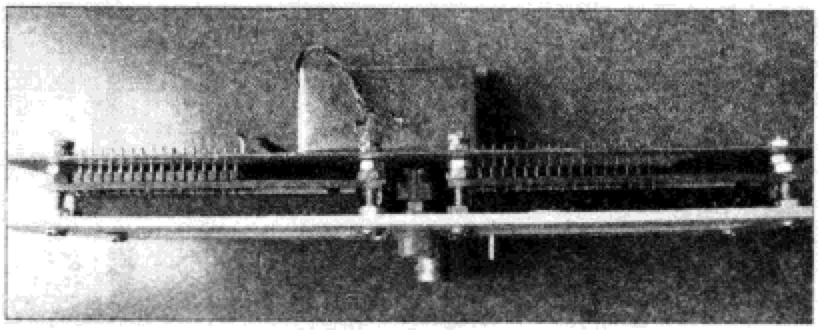
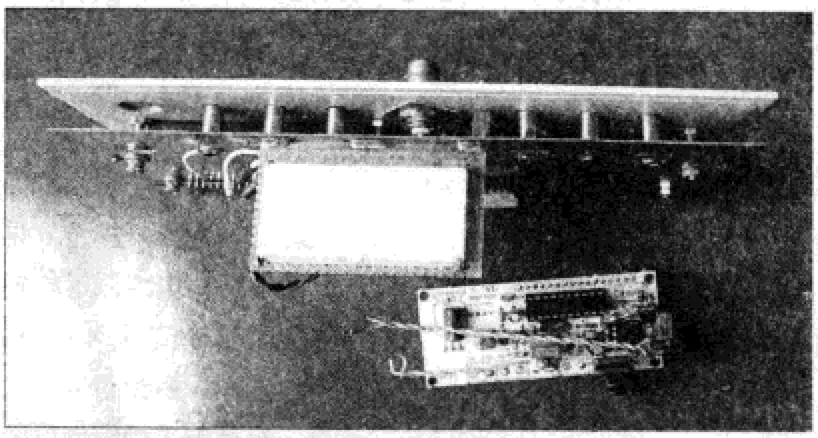


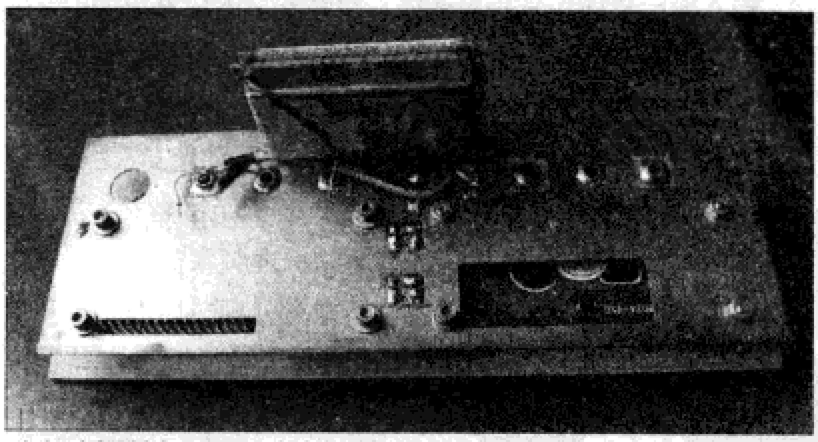
图3 经过改装的电源板



（a） 面板、液晶显示屏和内衬板的组装



（b） 测量插座和频率组件的安装



（c） 测量插座、开关和频率组件焊接在内衬板上

图4 安装电感电容频率测量部分

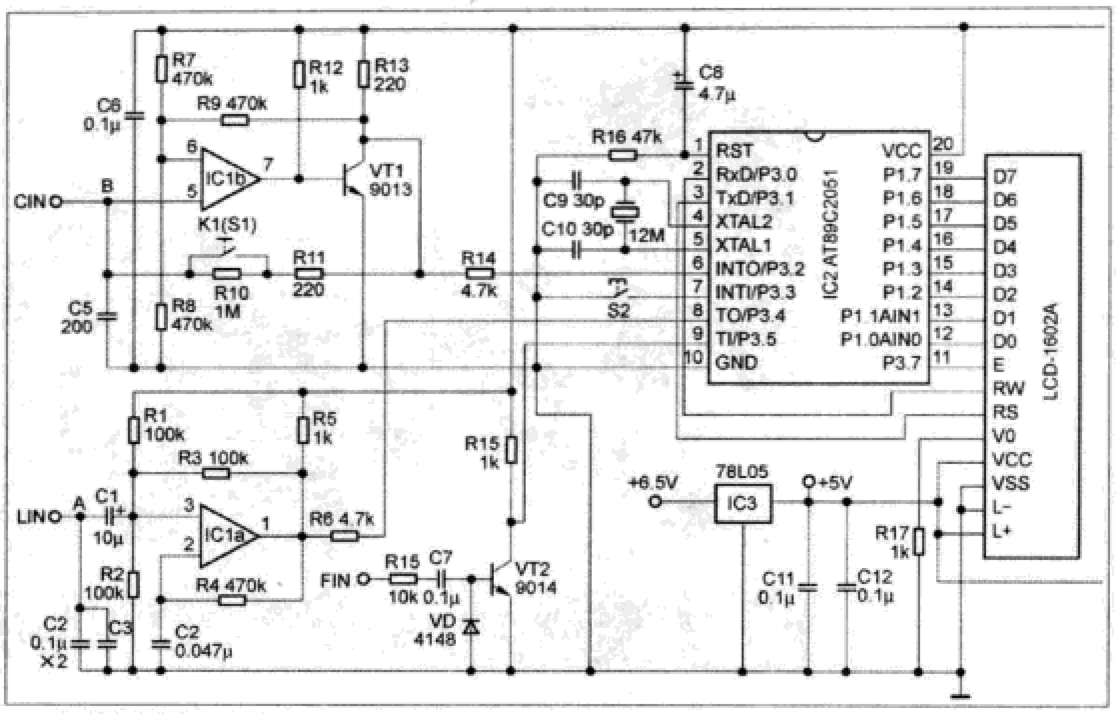


图5 电感电容频率表电路原理图

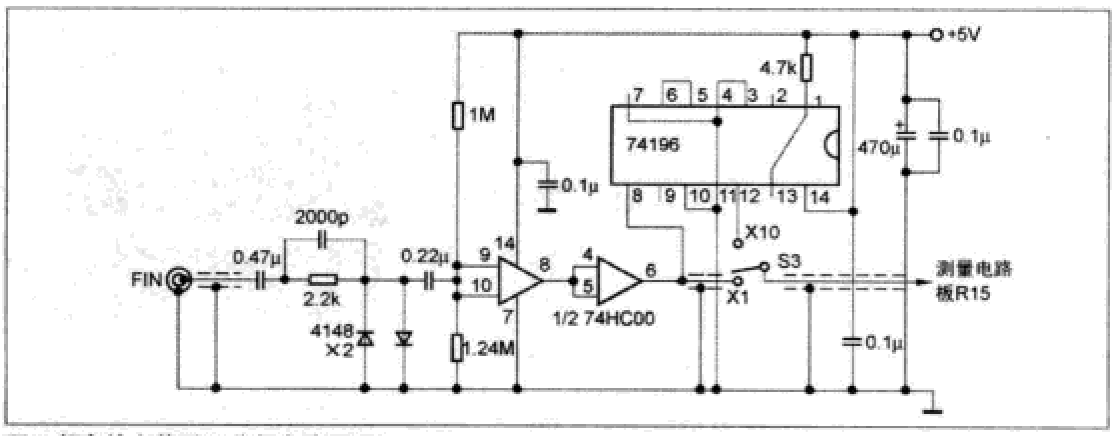


图6 频率放大整形10分频电路原理图

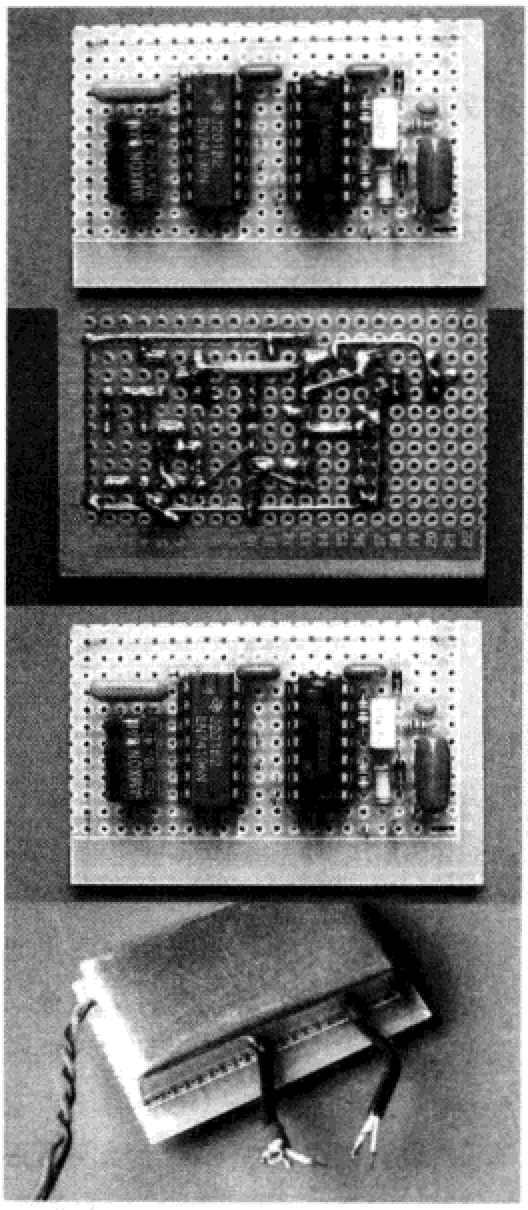


图7 频率测量组件

小的理想波形，经实测频率高端只能达到300kHz左右，因而限制了其使用范围。笔者用2块数字集成电路和一些元件采用洞洞板安装了一个放大整形和10分频电路，电路原理如图6所示。同时用薄铁皮加工了一个屏蔽盒，测频范围×1挡和×10挡，应用一个单联双掷开关转换。这样，测频高端可达3MHz以上，可应用于多种波形的测量。组装完工的组件见图7。输入输出接线应采用屏蔽线，组件安装的位置见图4。

将C10（30pF）换成由18pF电容与5/25pF的微调电容并联，在新增加的放大整形分频组件的输入端输入100kHz以上的信号，同时并接上标准频率计，按压功能键S2（无锁开关），使测量仪为频率测量模式，测频范围置×1挡，调节微调电容，使测量仪显示的频率与标准频率计相同即可。调整时应使频率计和待调测量仪通电充分预热后进行，并且反复校调几次。输入的频率选择100kHz以上，可保证待调仪表屏幕显示的数字位数为最多，最大限度地提高调试的准确度。如是，单片机的时钟频率（12MHz）也已校正完毕。图8是频率测量端口悬空时的屏幕显示。

2. 电感测量的调试

待测电感是与一个已知电容（0.2μF）并联，与IC1a等组成振荡电路，A点的波形为正弦波，IC1a的1脚输出的波形是方波，此方波经R6输至IC2的8脚，IC2则根据输入方波的频率计算出电感量，而C2、C3、R1、R2、R3、R4和C4都对频率有影响，所以在焊接电路板前务必检测这些元器件，若准确度达不到要求（所配电阻虽然是5色环±1%的精度，但大多数达不到要求），宁可多花些时间自己购买元器件，筛选出符合要求的，笔者曾走了弯路，元器件焊接前未经测量，只好拆下重新换上筛选出的元器件。电阻要在5色环金属膜中挑选，C2、C3、C4应选有机薄膜介质的，并且应使C2、C3并联后的容量为0.200μF。

调试时按S2使测量仪为电感测量模式，测量不同数量级的电感，如μH、mH、H级的，与标准表进行比对，然后微调C2、C3并联值（可并联1000pF等小值的电容，增大C值，屏幕显示的电感数值也变大），使各数量级的电感测量值等于

图8 频率测量端口悬空时的屏幕显示

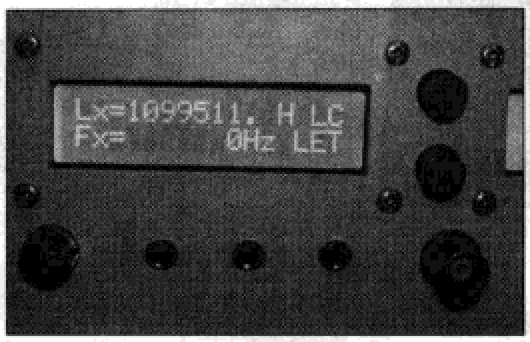


图9 电感测量端口悬空时的屏幕显示

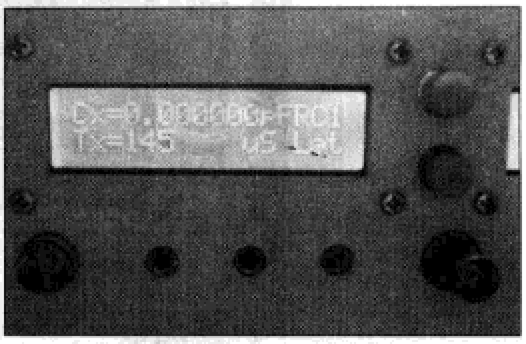


图10 电容测量1挡端口悬空时的屏幕显示

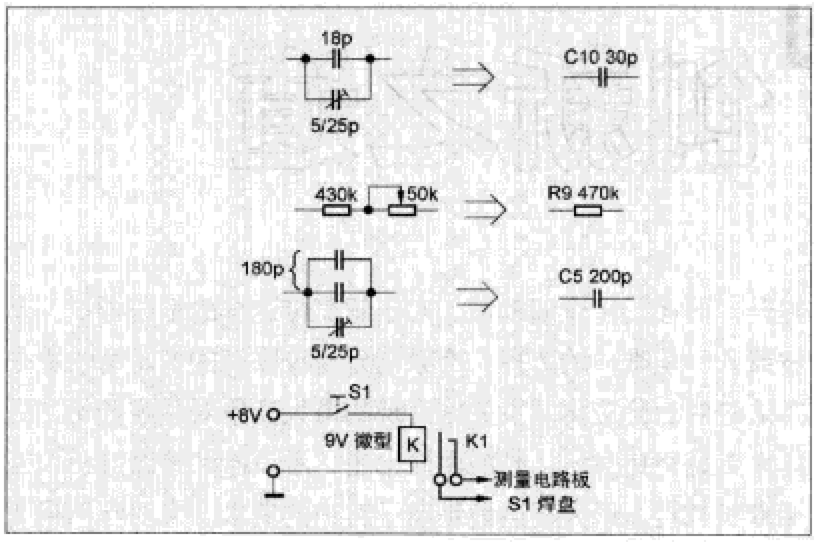


图11 经过调整的元件图

或尽量靠近标准表（有时还要折中处理）。当测量端口悬空时屏幕显示如图9。

3. 电容测量的调试

待测电容与 C5（200pF）电容并联后与 IC1b 及外围元件组成电容充放电电路（B 点测得是电容充放电波形），IC2 是根据并联电容充放电周期计算出待测电容。电容测量的调试，笔者颇费周折，除采取如上述一样的做法：筛选元件 C5、R7、R8、R9、R10、R11 等，并重新焊接外，还采取了如下措施：一是 C5 由 2 只电容并联成容量为 180pF 左右，再并上一只 5/25pF 微调电容，此 2 只电容不能采用瓷片（因为受温度影响较大），应选用有机薄膜或云母的电容，因手头没有小容量的薄膜电容，最终用 2 只云母电容并联而成。R9 改由 430kΩ 与 50kΩ 10 圈微调电位器串联代替。二是测量端口至测量电路板的 CIN 端用屏蔽线连接，屏蔽层单端接地；带锁开关 S1 应就近电路板 S1 焊盘处安装，尽可能缩短连线，此处笔者也经过反复。开始设计布置面板时未考虑到此开关一根连线是接在电容测量端口，而将开关 S1 装置在面板中央偏上位置，然后用较长的 2 根连线接到电路板的 S1 焊盘上，结果引入了干扰，显示数字跳个不停。后来找到了一只 9V 微型继电器，就近安装在测量电路板 S1 焊盘上，原焊接 S1 焊盘的 2 根连线改焊在继电器的线包脚上，由电源板+ 8V 处接一根线至带锁开关 S1 的一个脚上，原焊在本脚上的连线改接“地”，将开关 S1 改为控制继电器线包电压的通断。经过上述改进后，显示的数字就稳定了。

调试时，先按压功能键S2，使仪器测量模式为C2挡，按S1接通K1（将R10短路），分别用不同量级的电解电容（如几百微法拉～几万微法拉）进行测量，并与标准表对比，调节50kΩ的微调电位器使显示的数值等于或接近标准表的数值，对于不同量级的电容所测得数值都要与标准表的数值一致实为难事，此时可采取折中处理，反复调试几次，使各量级尽量接近标准表。测量时注意电容极性。接着将电容量程置C1挡，按S1断开K1，测量端口悬空，调节与C5并联的微调电容使屏幕显示如图10所示（C_x=0.000000pF，T_x=145μs）即可，然后再用小值电容验证，应该可达到测量精度要求。

图11是经过调整的元件图，图12（a）是调整后的电感电容频率表电路板，图12（b）是完成接线的电路板。

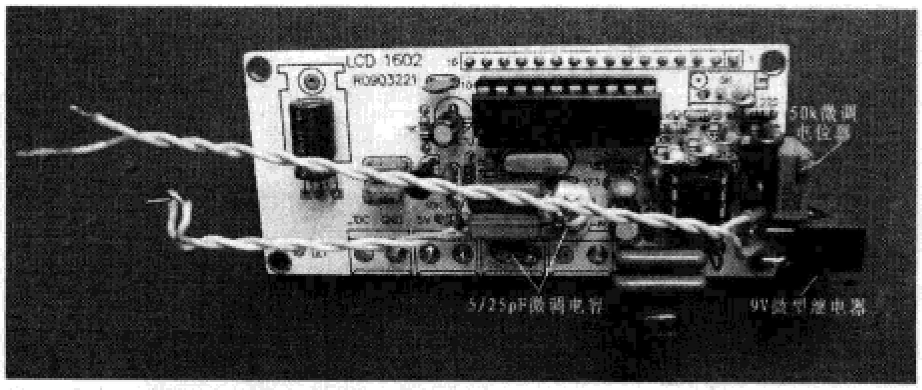


图12（a） 调整后的电感电容频率表电路板

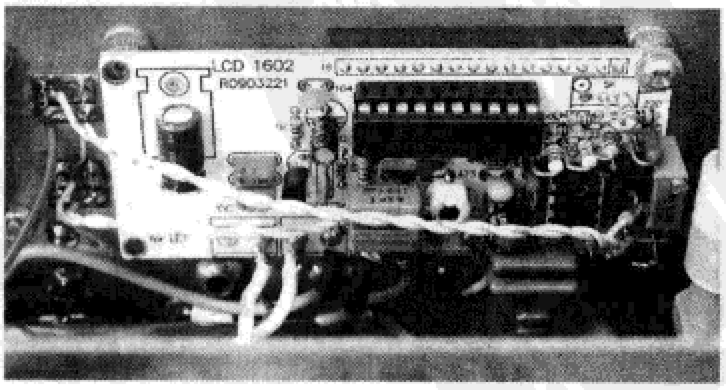
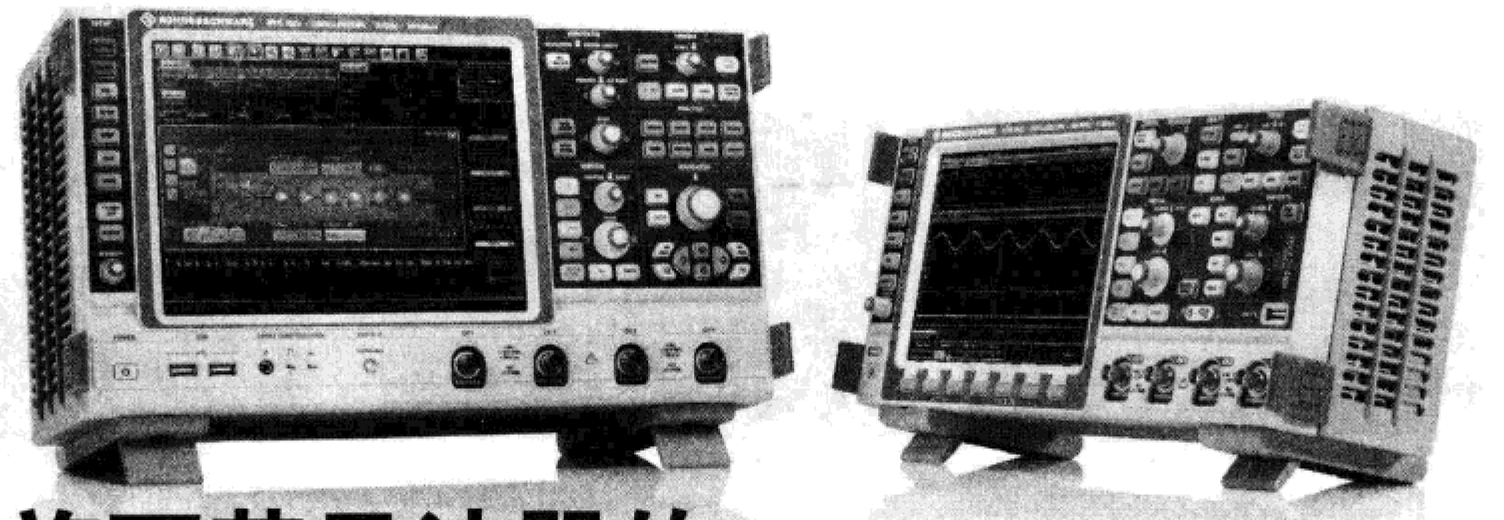


图12（b） 电感电容频率表电路板的接线



罗德施瓦茨示波器的创新之道

◎邓宝明

示波器市场是一个成熟的市场，中高端向来由泰克、安捷伦、力科垄断，然而罗德施瓦茨这一重量级选手的加入打破了这许久的平静。

作为一个成熟的市场，3强基本上瓜分了主要的市场份额，大家也都有自己的市场定位和基本固定的客户群。你来我往的拉锯战，充其量是彼此占有的份额有了一定的变化，但总的市场仍然牢牢地掌握在他们手中。形成此种局面，自有其历史原因，但更重要的是多年以来都没有出现挑战者。但这一次，终于来了一个重量级的挑战者。

作为挑战者，往往要拿出看家的本领，让我们一起来看看罗德施瓦茨有什么过硬的手段，敢于挑战。

从惠美开始

早在5年前，罗德施瓦茨就收购了德国的惠美（HAMEG）。惠美并不以示波器见长，自然也就没有引起示波器3强的过分关注。但收购惠美这一德国唯一坚持研发示波器的厂商显然是一个信号，那就是罗德施瓦茨决心进入示波器领域。因为，一来罗德施瓦茨最善长的是射频和微波领域，示波器，更准确地说，时域仪器一直是它的短板。二来，惠美研发示波器的历史可以说非常悠久。

本来，时域和频域向来井水不犯河水，大家相安无事，对于罗德施瓦茨这一传统的频域仪器厂商来说并无大碍。但问题就在于随着示波器功能的不断增强，尤其是带宽的显著提升，已经到了微波领域，对于超宽带这样的系统调试，示波器几乎是唯一的选择，而频谱分析仪固有的窄带特性更是无法应对时分应用。罗德施瓦茨的最大竞争对手安捷伦，近年来更是坚持时域、频域两面出击，示波器和频谱分析仪互相取长补短，最大程度地满足了客户的需求。面对咄咄逼人的对手，面对已经出现的客户需求，罗德施瓦茨却无法提供示波器等时域仪器，这一切都让它下了进入时域的决心。

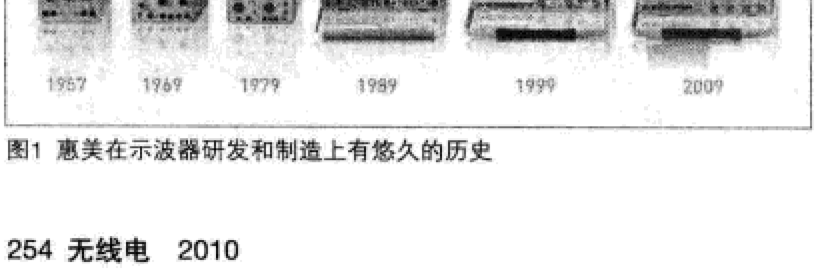


图1 惠美在示波器研发和制造上有悠久的历史

研发示波器的工作在悄悄地进行，罗德施瓦茨从泰克等竞争对手处挖来了大量的人才，以德国人为主力，开始着手研发全新的示波器。2009年初，惠美推出了HM3524系列，350MHz的带宽，配备了4GS/s的采样率，这一产品可以认为是一次中场练兵。罗德施瓦茨还在继续完善最终产品，但是也从侧面表明了他们研发新产品的能力。

终于，时间到了2010年6月28日，这一天罗德施瓦茨召集了全球的主要电子媒体，宣布正式推出自有品牌的示波器，并说这是示波器的艺术。

题图为罗德施瓦茨最近全新推出的2款示波器，左为中端产品RTO，右为入门级产品RTM。

超越和创新

要想在成熟的产品上做出创新，并不是一件容易的事。这就好比超越iPhone，谈何容易。显然，中端示波器就属于这种情况。但是，罗德施瓦茨推出的示波器就具有打动人心的力量，就算不能使你一见倾心，也绝对会留下深刻的印象——全新设计的用户界面、触摸屏、拖曳式的全图形化菜单。除此之外，让我们一起来看看还有何创新之处。

1. 存储深度

RTO系列是其推出的中端示波器，最大带宽2GHz，每

通道采样率10GS/s，这两个指标都中规中矩。唯独单通道最大400MS（此处S为采样点sample，也有厂商标作points或pts），每通道最大100MS的存储深度，在同级别的示波器中完全可以傲笑同侪。深存储带来的好处不必多言，而每个通道10GS/s的采样率也完全可以保证最大带宽时的信号保真度。

2. ENOB 有效比特数

ENOB是随着高带宽示波器的出现提出来的，因为ADC在带宽增加时，有效的比特数会随之减少，最坏的情况下，高带宽示波器的ENOB会在5 bit以下。虽然2GHz 示波器的ENOB退化没那么严重，但仍然值得重视。普通示波器一般只能在1～2GHz范围内提供6 bit 左右的ENOB，而RTO系列则在整个带宽内都能保持7 bit以上的ENOB，当然这么优秀的指标主要归功于采用SiGe工艺设计的10GS/s单芯片ADC。

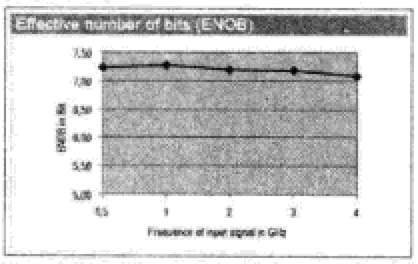


图2 在整个带宽内都保持了7 bit以上的ENOB

3. 波形刷新率

模拟示波器的波形刷新率为40～50万次，所以大家用来观察波形的时候，感觉很快。而数字示波器的这一指标，则要慢上好多。中端示波器中这一指标的佼佼者当属Agilent，一般是100k次。而罗德施瓦茨这一次将这一指标记录刷新到了100万次。而且不光是在采集，甚至是在运算时，也能保持这一速度。这一显著的进步得益于全新设计的具有1500万门的ASIC，使得前所未有的快运算速度成为可能。刷新率快的好处是可以有效地检测偶发或低概率事件，并且可以大大减少检测时间。普通示波器只适合于检测ms级的异常，也就是异常几ms才出现一次。而RTO则使s级出现异常的检测成为可能。

最大刷新率取决于分析功能

分析功能	最大刷新率
None	> 1 000 000
Histogram	> 1 000 000
Mask test	> 600 000
Cursor measurements	> 1 000 000

图3 就算在运算时，也保持了极高的刷新率

4. 本底噪声

卓越的前端设计加上SiGe工艺的ADC，终于使这款示波器获得了极低的本底噪声。具体表现在，就算1GHz的低幅度信号，附加在通道上的噪声也非常小。而低的本底噪声又会进一步增强输入灵敏度，就算输入信号小于10mV 也能提供非常高的测量精度。除此之外，模拟前端的温漂也控制得非常好，这样就不需要在测量过程中老是通过校正来补偿。此外前端设计采用了全屏蔽结构，使得通道间隔离度在2GHz时仍然优于60dB，也就是说输入信号间的串扰减到了最小。

捕获异常信号的平均测量时间（是异常概率和刷新率的函数）

异常概率	刷新率 [waveforms/s] 100	10 000	100 000	1 000 000
100/s	1 h : 55 min : 08 s	1 min : 09 s	6.9 s	0.7 s
10/s	19 h : 11 min : 17 s	11 min : 31 s	1 min : 09 s	6.9 s
1/s	7 d : 23 h : 52 min : 55 s	1 h : 55 min : 08 s	11 min : 31 s	1 min : 09 s
0.1/s	79 d : 22 h : 49 min : 10 s	19 h : 11 min : 17 s	1 h : 55 min : 08 s	11 min : 31 s

10 Gsample/s, 1 ksample recording length, 10 ns/div, 99.9% probability of detecting the error

图4 100万次的刷新率使秒级异常检测成为可能。

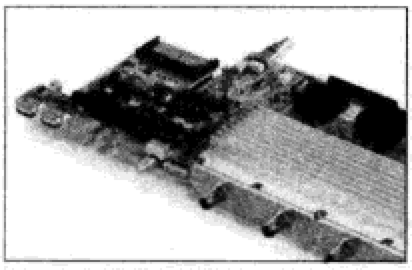


图5 全屏蔽的模拟前端，极大地提高了通道隔离度

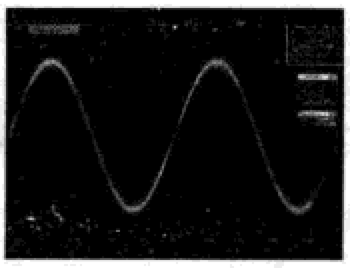


图6 1GHz、6mV左右的信号，波形迹线也非常细，固有本底噪声只有1mV不到

5. 数字触发

业界首创的数字触发，不仅使得触发抖动降到最小，而且不再需要Re-Arm的时间，也就是这次触发与下一次触发的等待时间。同时大大增强了触发的灵活性和灵敏度。

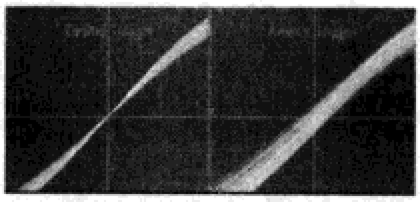


图7 数字触发抖动fs级，模拟触发抖动ps级

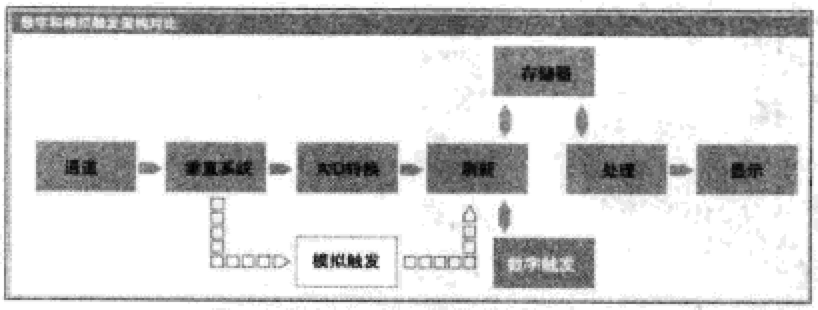


图8 数字触发示意，不再需要Re-Arm

6. 探头

可以通过探头尖端的按钮控制示波器操作，比如开始/停止、单次触发等操作。同时有源探头集成了电压表功能，不论设置如何，总是能检测附加在信号上的直流偏置电压。这样一来就再也不用拿万用表检查信号上是否存在直流电压。

总而言之，罗德施瓦茨此次发布的2款示波器，在借鉴和吸收了竞争对手以往产品优点的基础上，改进了示波器的一些功能，尤其是首次引入数字触发系统和探头控制功能，这种在已经非常成熟产品上的创新，实属不易。而作为后来者，为中端示波器市场注入的新鲜活力，更是功不可没。厂商之间的不断竞争，促成了产品的不断进步，而消费者也从不断改进的示波器中获益。

汽车电脑板维修用三通道信号发生器

◎林元新

我们在对发动机电子控制模块（俗称电脑板，见图1）进行检测与维修时，往往要在实验室模拟其工作状态，以达到检测或查找内部电路故障的目的。实验室检测电脑板的前提条件是提供它合适的输入信号，其中最主要就是发动机曲轴信号和凸轮轴信号。

现代汽车发动机普遍采用4冲程燃油发动机，曲轴每两圈、凸轮轴一圈完成一个工作循环，也就是进气、压缩、作功、排气的4个连续过程。在整个循环中何时喷油，何时点火，ECU通过曲轴传感器、凸轮轴传感器来检测,并根据相关的其他传感器信号，实现喷油和点火的精确控制，也就是发动机电脑板最主要、最基本的工作。不同型号的电脑板所必须的信号种类和数量不同，信号的波形序列也各不相同，如通常大众车系电脑施加曲轴信号电脑就可以模拟出喷油、点火等基本的输出信号。目前最为苛刻的应该是博士柴油高压共轨电控系统，必须精确给出多路信号才可能有喷油输出，这就给电脑板维修带来很大的麻烦，研究三通道信号发生器并生产价格合适的维修仪器非常有必要。本文介绍的汽车电脑板维修专用三通道信号发生器具有单通道信号发生器的全部功能，同时增加以往单通道信号发生器实现不了的功能，如同时输出曲轴和凸轮轴同步信号。这个同步信号如同汽车上曲轴、凸轮轴传感器输出的信号一样，如曲轴传感器

图1 博士M797电脑板外形图

输出一定数量周期信号后停顿一两个周期，而这个停顿周期就对应传感器齿靶的缺齿位置，此时活塞处在上止点位置附近。

主要功能和性能

发动机的最高转速一般为4000～5000转/分钟，换算成信号频率在10～6000Hz范围内，通常模拟电脑工作一般在怠速或者低于怠速转速，所以这个频率足够了。另外大部分汽车采用12V直流电压，各种信号的电压幅值在-12～+12V之间，而对于24V系统电源的汽车，往往这个信号幅度也可以工作。信号的频率、幅度已经解决，现在就是信号的波形序列了。由于曲轴和凸轮轴是周而复始地旋转，其传感器输出的波形也是一个周期内序列波形不断重复。

系统组成

这些问题都解决后，就看具体怎么实现了，信号发生器的主要组成有：主板、12232中文液晶显示屏、旋转编码器。主板上有主控芯片

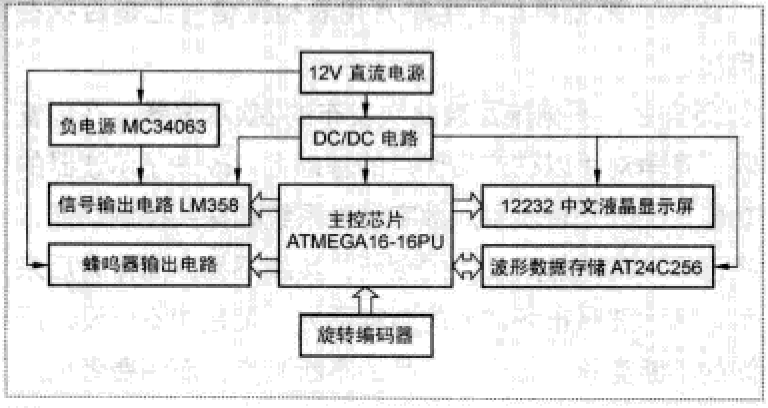


图2

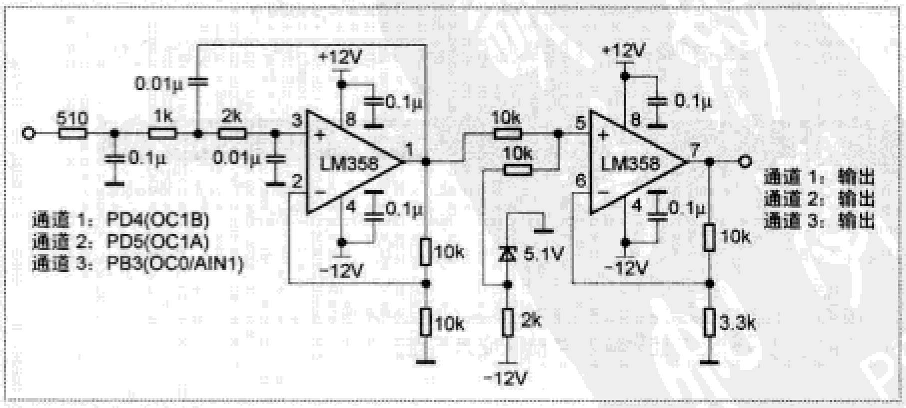


图3 信号输出电路

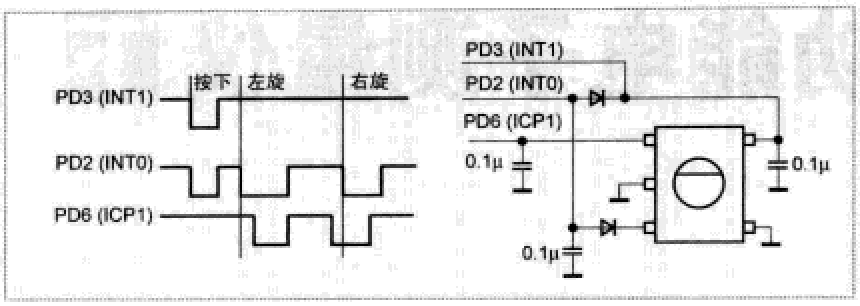


图4 编码器电路

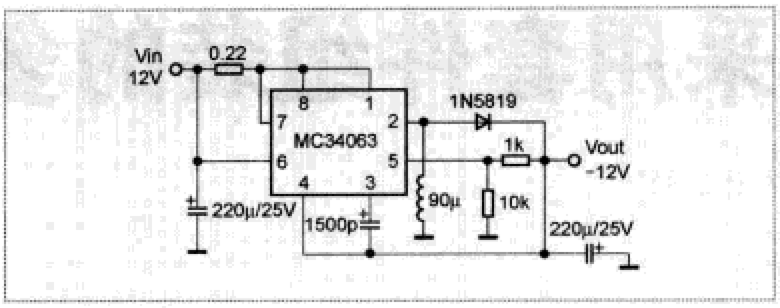


图5 负电源电路

ATMEGA16-16PU、DC/DC电路7805、负电源产生MC34063、波形数据存储AT24C256、信号放大LM358、USB转串口芯片CH340T等主要元器件。液晶显示屏自带中文字库，用于显示波形参数和波形名称。旋转编码器用于接受用户操作指令。

工作原理

ATMEGA16-16PU是高速RISC单片机，速度快，内部资源丰富，有3个定时器，一共可以做4路PWM输出，这里用到3路PWM，而用一个定时器产生系统时间基准。

通过PWM产生波形，见图3所示的信号输出电路。LM358一路运放构成二阶低通滤波，另一路构成加法放大电路，-5.1V直流基准电压和滤波后的信号相加后，使0～5V的PWM波形转换到-12～+12V。AT24C256是I^2C接口，这里用软件模拟，对其读出或写入数据。

旋转编码器用到单片机的一路外部中断口，见图 4 编码器电路。当发生外部中断时检测编码器引脚的电平高低，来检测出是正向旋转、逆向旋转，还是按动旋钮。

MC34063产生负电源，见图5负电源电路，这个电路的特点是简单、成本低，而且有多种保护功能，电压可以调整，输出电流1A左右，足够使用。液晶显示屏内带字库，这样编辑的波形文件中波形名称就可以支持中文，方便波形的查找和调出，

制作与调试

关键硬件电路文中已经给出，其中AT24C256、蜂鸣器与单片机的接口资源可以自己安排，USB转串口芯片CH340T电路可以在该公司网站上下载。对所有元器件没有特别要求，电路正确连接后，唯一需要调整的是LCD的对比度。软件采用C语言编写。

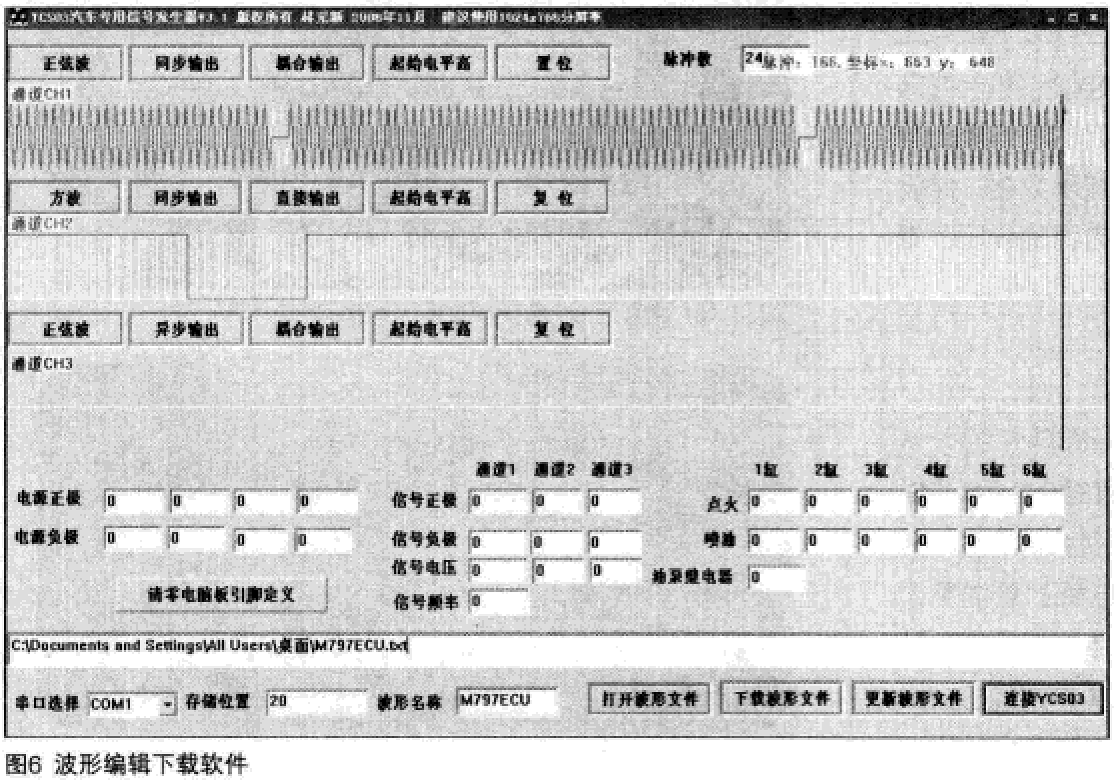


图6 波形编辑下载软件

使用方法

前面讲到波形序列是由专用波形编辑软件手工编辑，并自动生成波形数据。信号发生器的波形序列一次不可能全部做齐，解决办法是这个波形序列可以后编辑，并下载到仪器里。为了更方便使用，此数据还加入波形名称、波形电压、信号频率、波形存储地址以及电脑板引脚定义等内容，这些数据通过USB接口下载到仪器内存里，在选取此波形后仪器就自动设置并输出波形，同时可以查看电脑板引脚定义。运行专用软件，波形编辑下载软件界面见图6，可根据不同车型电脑板的具体数据进行参数编辑，确认无误后点击“更新波形文件”，软件自动生成波形文件，连接仪器后，选择好通信端口，点击“下载波形文件”，这时如果仪器正确接收数据，蜂鸣器会提示，并立即进入波形输出界面，LCD屏显示波形名称、波形电压、信号频率等信息。其中波形电压、信号频率可以调整，但第一次调出时是自动设置，方便使用。图6中“耦合输出”是扩展功能，目前仪器还不支持。

本仪器经过半年来上百位用户使用，反映性能稳定，功能强大。其可编程特性，在使用上更灵活，维修电脑板的技师、用户不断编辑新的波形文件，而波形文件非常方便交流，相互共享。

采用套件组装的多功能电子测量仪 下

◎林芝松

上一期介绍的电感电容频率表你做好了吗？接下来我们就开始使用吧。

测量仪接通电源后首先进入的是电感测量模式（默认），电感量程为10μH～20H，其实也可测出几个μH的电感量，读数时取前面几个稳定显示的数字已足够了。按一下S2，测量仪就进入电容测量1挡模式，屏幕第一行后面显示“C1”，此时应断开K1（即S1开路），电容量程为10pF～10μF。测量小值电容时最好不要使用测量夹头，将电容两脚直接插入测量端口使其接触良好，如果不便操作，“COM”端（“地”）可用测量夹头夹住电容一脚（或电解电容“-”端），另一脚直接接触C测量端口，这样可减小干扰，稳定显示。再按一下S2，进入“C2”挡，同时应接通K1，此时量程为1～70000μF。测量大值电容或高压电容时，必须先使电容充分放完电再测量。再按S2就进入频率测量模式，当扭子开关S3置×1挡，量程为1Hz～300kHz，屏幕显示的末位数字是频率的个位数，当S3置×10挡时量程为10Hz～3MHz，屏幕显示的末位数字是频率的十位数，读数应×10倍，频率显示为6位数。因为增加了放大整形电路，对所测波形的适应性更强，应用更加自如。再按压S2，测量仪又回到了电感测量模式，功能切换是循环式的。

图13列举了几个使用的例子，供参考。

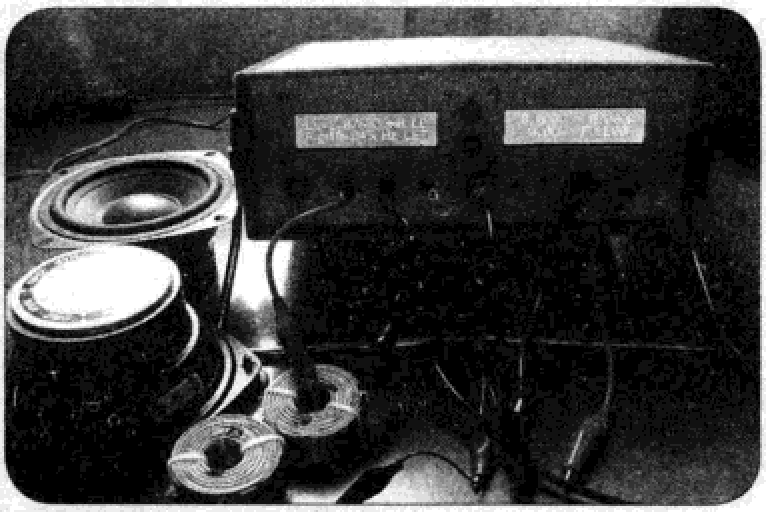


图13（a）测量音箱分频器电感，标称值：1.0mH，测量值：1.076839mH

图13（b）测量思碧电容，标称值：14000μF，测量值：14133.47μF

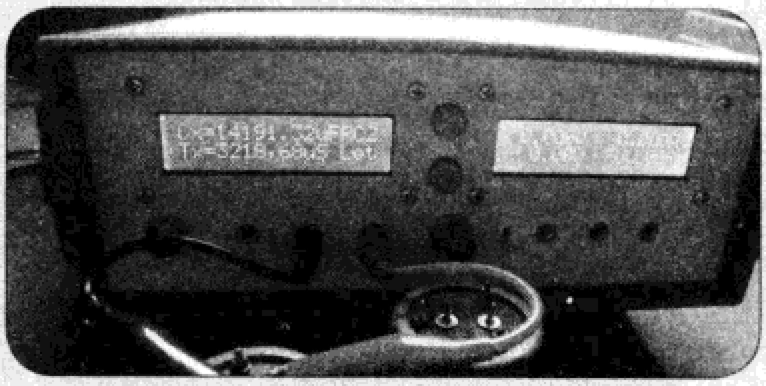


图13（c）测量另一个电容的值为：14191.32μF

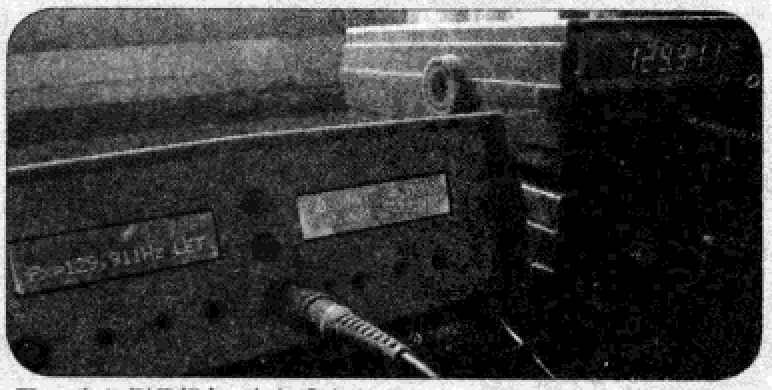


图13（d）测量频率（与标准表比对），f=129.911kHz

电压电流功率电阻表

本套件由一片烧录好程序的单片机ATTINY26L和一些贴片电阻、电容，安装在一块47.2mm×23.6mm的PCB板上构成测量电路板，仍采用1602蓝底白字液晶屏显示数据。原设计是应用在直流电源上作为双路数字表显示电源的电压、电流的。笔者根据电路板绘制的电路原理图见图14。

一、组装

依照PCB上丝印的元件参数和商家的资料介绍，认真焊接好贴片电阻、电容等元件，并且用直径0.6mm的锰铜丝2根并联加工了一个0.05Ω的分流电阻替代原配的2只0.1Ω/2W电阻。加工时有条件的要经双臂电桥测量调整，若没有电桥也可查出相应直径的锰铜丝的有关数据计算出长度，再加上一些焊接头的长度即可。笔者手头有直径0.6mm的锰铜丝，用单根加工，截面积不够大，所以用2根并联，

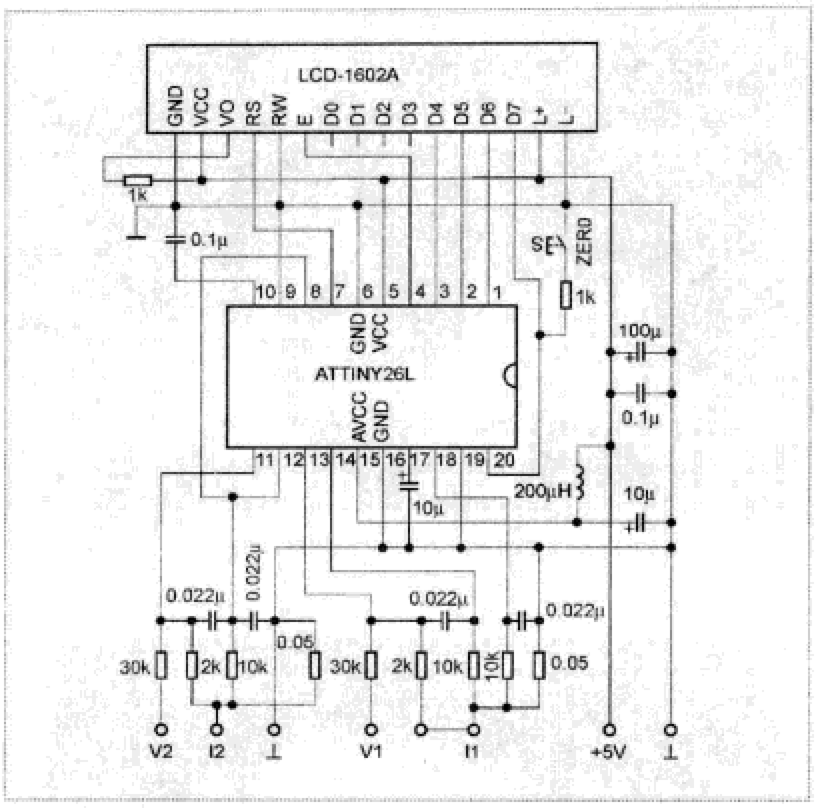


图14 电压电流表电路原理图

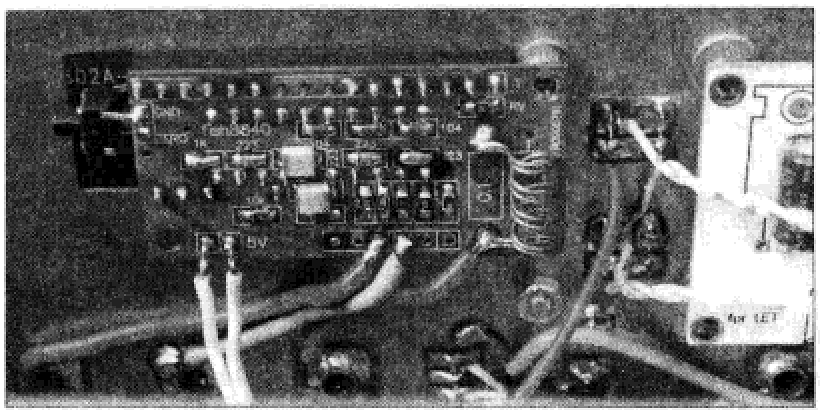


图15 电压电流表电路板的接线

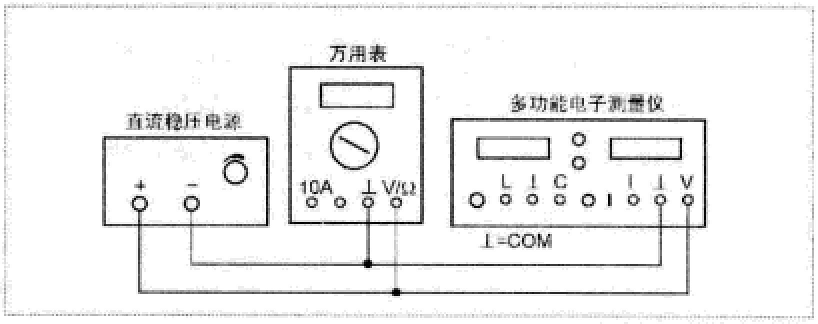


图16 电压调校连接图

图17（a）2V电压的调校

图17（b）19V电压的调校

截取长度时每根应是计算值的2倍，然后并联，阻值才会正确。又用一只200μH的电感（原套件未配）焊接在+5V端至单片机的AVCC端（15脚）之间（原为一跳线），与C11组成网络，对单片机的副电源进行滤波。

电路板通过接插件与1602显示屏连接，电路板元件焊接面下沿从左至右排列有电源“地”、+5V外，另有6个焊盘，顺序为I1、I1、V1、⊥、I2、V2。从电源板上直接引电源线焊接到电路板上，分别用0.5mm^{2}截面积的导线连接“V1”至面板“V”插口，“⊥”至面板“COM”插口，分流电阻的下端焊盘至面板“I”插口。因为“I1”焊盘至分流电阻的下端焊盘的走线较细，不利于长时间通过较大电流，所以连接线直接焊接到分流电阻的下端焊盘上。余下I2、V2焊盘不用（是另一路的输入端），见图15。

二、调试

调试时需要一台能输出电流2A以上、电压在1～30V范围内连续可调的直流稳压电源，10～20Ω左右允许长时间通过2.5A电流的负载电阻。

1. 电压的调校：调校时仪表、电源等的连接如图16所示。先按住校正按钮（ZERO）不松手，等接通测量表电源后再放开，此时屏幕提示2VtoV1，调节可调电源，使标准表显示2.00V时按压校正按钮一下，屏幕再次提示19VtoV1，调节可调电源，使标准表显示19.00V时按压校正按钮一下，屏幕又提示2AtoI1，待校测量表为电流调校模式。见图17（a）、图17（b）。

2. 电流的调校：不要切断测量表电源，按照图18连接

线路，标准表设置为直流电流10A挡，可调电源从低电压开始缓缓调节，使标准表显示2.00A时按压一下校正按钮，测量表调校完毕，进入工作模式。见图19。

三、使用

用测量表测量电压、电流时的使用方法与数字万用表基本相同，只是它的量程为：电压0～40V，显示小数点后3位数，如40V显示40.000V；电流0～2.5A，显示小数点后3位数，如2.5A显示2.500A。测量时要分清电压（或电流）的极性，要与插口相一致："V"（I）接"+"端，"COM"接"-"端。不要超量程使用和反极性连接，否则易损坏测量表。如果需要同时显示负载消耗功率W和负载电阻R，应按图20连接（三端输入）。图21是三端输入的应用示意图，图22是组装调试完工的测量仪的内部结构图。

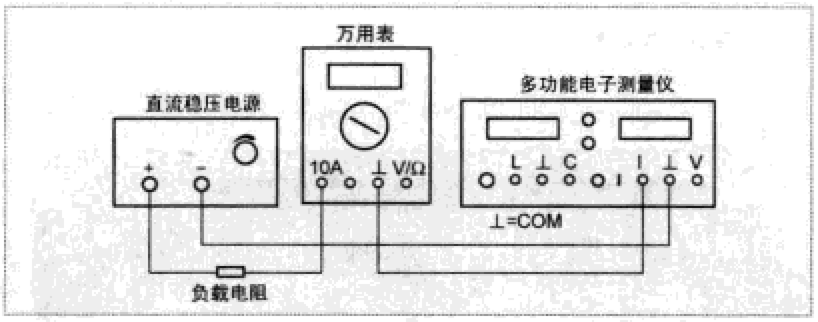


图18 电流调校连接图

图19 2A电流的调校

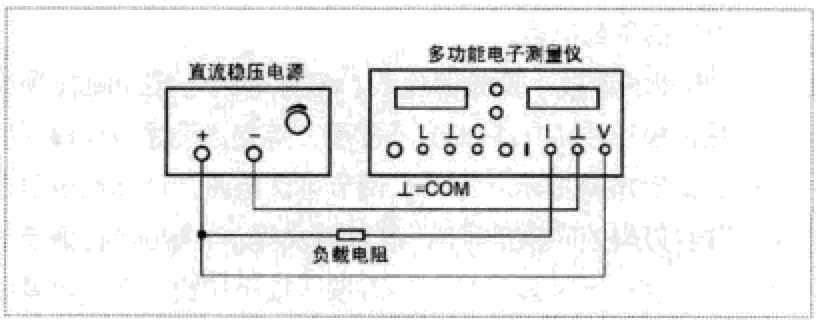


图20 三端输入连接图（能同时显示负载的功率W和电阻R）

图21 三端输入的应用，屏幕显示：1.942V，0.180A，0.34W，10.788R

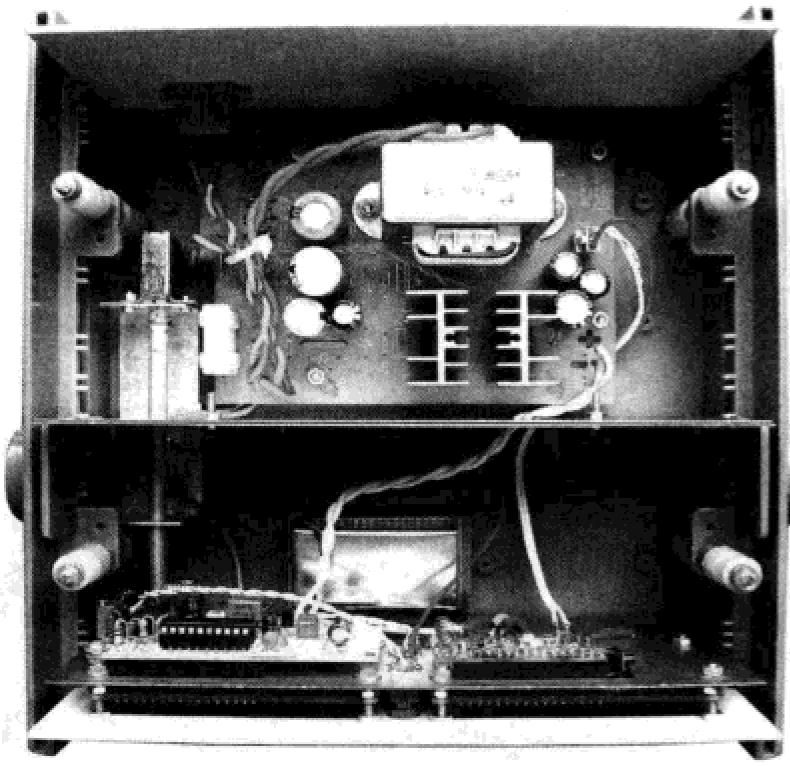


图22 组装调试完工的测量仪的内部结构

四、扩展

文章写至此似乎已是尾声了，但对此测量表意绵绵尚未绝，为的只是扩展用途，提高精度。因为本表原是应用在直流电源上作为显示电压、电流之用，存在只能测量直流的电压、电流、量程有限、输入阻抗小（30kΩ）等不足之处。初衷的想法是用此表头组装一台能测量交直流电压、电流的多用表，拟增加一挡分压电阻和线性整流电路（AC/DC转换电路），更换分流电阻，将量程扩展为交直流400V（注意处理好绝缘）、5A；调换原配的几个电阻，提高测量精度（对所显示的负载功率W和负载电阻R有影响）。笔者在此抛砖引玉，供爱好者DIY时参考，让我们共同努力吧！

深入了解载波发生电路

——LC非线性振荡器的测试

◎王文勇

在中学课外科技活动中，同学们对无线电通信的态度一向表现得很活跃，并且有着浓厚的兴趣。在无线电通信中最常见的设备是手机，它包括发射和接收两部分。接收部分就是人们所熟悉的收音机功能，而对同学们有着特种神秘感和吸引力的是无线电通信中的发射部分。它能让自己的声音通过无线电波传播到很远的地方从收音机里播放出来，这是令人很惬意的事情。

简单地说，无线电通信中发射部分的工作过程是：话筒把人的语音转化成语音电信号再经过放大，调制到高频电信号上去，然后把放大的带有语音调制信息的高频电信号通过天线发射出去，被远方的收音机接收下来，解调出我们的声音。

这其中的高频电信号叫高频载波。再通俗点讲，把语音电信号比作一部分人，要把他们送到很远的美国，必须乘坐飞机。高频载波就是能载这部分人去美国的飞机，飞机是这部分人到远方的必备运载工具。可想而知高频载波在无线电通信中的重要地位，所有靠无线电传输信息的设备又如无线电遥控，都必须用高频载波来运载信息，而高频载波的重要来源之一就是LC非线性振荡器。

LC非线性振荡器能产生频率稳定和电压幅值稳定的周期电压信号。它利用LC谐振回路实现频率的确定和相位反馈的平衡，利用晶体管的放大及其非线性实现振荡电压幅值的稳定。LC非线性振荡电路产生稳定振荡的条件是：

1. 要有放大器。
2. LC反馈网络满足相位平衡。
3. 放大器输出端反馈给输入端的信号电压足够大。

LC非线性振荡器是怎么样工作的

下面我们来看一款比较实用的LC非线性振荡器——克拉泼（Clapp）振荡器。它的频率稳定度较高，可以达到10^{-4}～10^{-5}数量级，能满足短波通信中发射机频率稳定度的要求。它产生的高频波，可以用作短波发射机的高频载波。

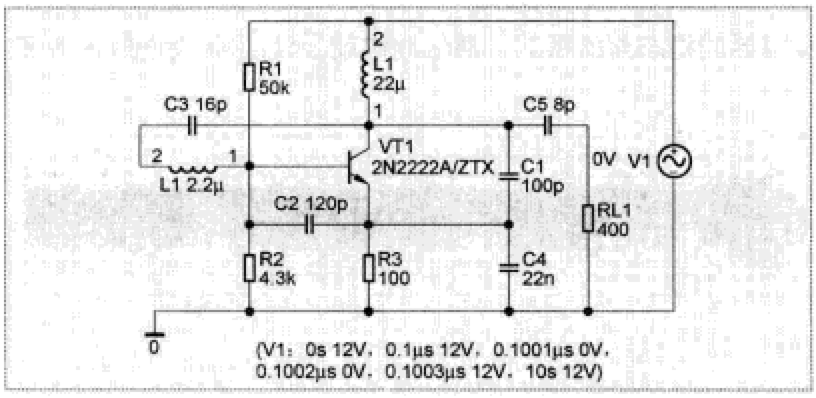


图1 利用分段线性源V1供电的非线性克拉泼振荡器电路

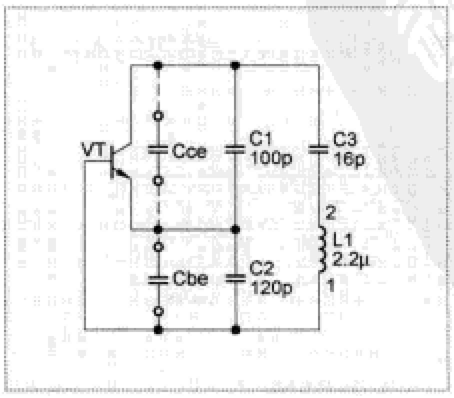


图2 克拉泼振荡器电路的交流通路

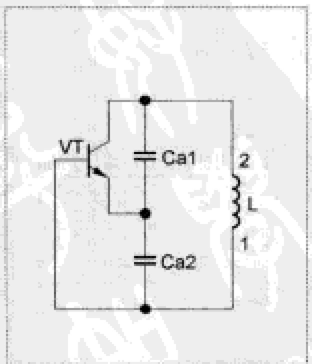


图3 电容三点式振荡器交流通路

它的电路原理如图1所示：晶体管VT1（2N2222A）是振荡器的主体，处于放大器工作状态。为了能使它正常工作，元器件R1、R2、R3、C4确定了它的工作点，使它工作在分压偏置直流电流负反馈的状态下。晶体管的工作电压为12V，静态集电极电流为2mA。

克拉泼振荡电路的交流通路如图2所示。其中电容Cce是晶体管VT的集电极与发射极间的结电容，电容Cce与电容C1是并联的关系，合起来可看作单独的Ca1。Cbe是晶体管VT的发射结电容，它与C2是并联的关系，同样合起来可看作单独的Ca2。电容C3与电感L1在一定频率下合起来可等效为一个电感L，那么克拉泼振荡器的交流通路就简化成了如图3所示的形式，我们称之为电容三点式振荡器。在电容三点式振荡器中，当晶体管的发射极端所接电抗元件性质都是电容时，即在图3中分别是电容Ca1、电容Ca2的其中一端。而基极端、集电极端所接电抗元件性质均各接不同性质的电抗元件，即图3中基极端接电容Ca2的其中一端和电感L的1端，集电极端接的是电容Ca1的其中一端和电感L的2端时，也就是符合三点式振荡器形成相位平衡的口诀“射同、基集异”所反映的电抗性质接法时，就会使晶体管VT、电感、电容等所构成的放大器实现相位反馈平衡，形成正反馈。

正反馈形成后，只要晶体管放大器具备足够的放大倍数，就能使正反馈逐渐加强。当振荡电压逐渐增大到进入晶体管VT的截止区，也就是晶体管VT的非线性区域时，振荡电压受到限制，振荡电压幅度略微降低并稳定下来，这就是LC非线性振荡器的非线性稳定幅值的作用。

交流通路中C1+Cce、C2+Cbe、C3、L1构成LC谐振回路，它组成克拉泼振荡器的选频网络，其中C1＋Cce，C2＋Cbe，C3是串联的关系。结电容Cce和Cbe是晶体管VT的本身属性，它们随晶体管工作电压和温度的变化而改变。因此晶体管的VT的工作电压或温度变化时都会引起工作频率的改变。为了稳定工作频率，我们有意识设定*C*3<<*C*1、*C*3<<*C*2，电容C1、C2的容量大小为同等级别。这样*C*ce、*C*be因振荡器工作电压或温度的改变而出现变化时，C1＋Cce、C2＋Cbe、C3串联后的总电容的改变量将很小，可达到忽略不计的程度。因此图1中的克拉泼振荡器的频率可由公式$f\approx 1/[2\pi(LC3)^{1/2}]$估算，根据实际数据估算的本振荡器的频率为28MHz，但实际频率要略高于估算值。在克拉泼振荡电路里C3相对C1、C2越小，电路的频率稳定度越高，但C3相对C1、C2的值太小时会减小振荡电压的幅度，过小时会使电路停振，因此选取C3要适当，既要兼顾到频率及其稳定度，又要兼顾到振荡电压幅值。

制作并测试克拉泼振荡器

初步了解了克拉泼振荡器的工作原理，在制作之前，我们需要对电路制作的成功性给于预测，也就是对这个LC非线性振荡器实施计算机仿真。在国内常见的通用电子电路设计与仿真的软件有Multisim、protel、tina pro。它们在电子电路仿真中各有所长，又各有其不足。而在世界上应用最多、也是最优秀的通用电子电路仿真软件是Cadence公司的OrCAD PspiceA/D程序。它以仿真数据准确，方便实用而享誉全球。但由于它所设置的看门狗的严密性，又由于没有中文版（其实全英文软件正适合中学生学习英语）使它在国内普及较晚。但近些年来，由于世全软件公司的Cadence OrCAD试用版公开使用，PspiceA/D在国内网上迅速普及，在通用电子电路仿真中大有席卷全国之势。因此我们的学生在通用电子电路仿真方面从开始就接触了Cadence OrCAD。接下来我们看Cadence OrCAD对这块LC非线性振荡器的仿真。

1. LC非线性振荡器的仿真

需要说明的是，图1中LC非线性振荡电路供电的电源，在OrCAD中的Capture CIS里使用了特殊的分段线性源（VPWL），它在其中的设置是（0S 12V 0.1μs 12V 0.1001μs 0V 0.1002μs 0V 0.1003μs 12V 10S 12V），它的电压幅值波形见图4所示。为什么要用这个特殊的电源呢？这是因为OrCAD pspiceA/D中的元器件都是理想化的，电路中没有噪声和干扰，这使得利用OrCAD pspiceA/D在对LC非线性振荡器进行仿真分析时，会出现不起振或很长时间才起振的现象。这是个在计算机电路仿真中快加求取非线性振荡器稳态解的方法问题。这在电子电路计算机辅助分析的技术领域中是一个很活跃的研究课题，现在已经取得很多研究成果，但是至今仍没有较成熟的成果。寻求快速求解LC非线性振荡器的稳态解的目的，通俗地讲就是让LC非线性振荡器在

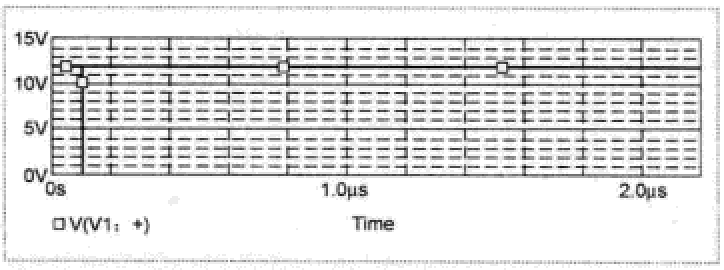


图4 在0.1μs处加入人为设置的跳动干扰电压的电源

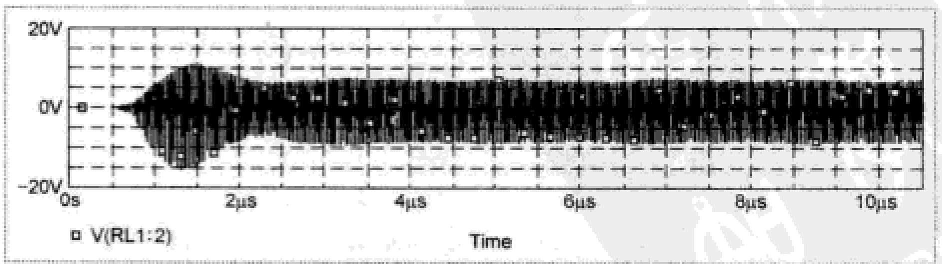


图5 用分段线性源V1供电的LC非线性振荡器在仿真中很快起振，频率和幅度也在短时间内趋于稳定

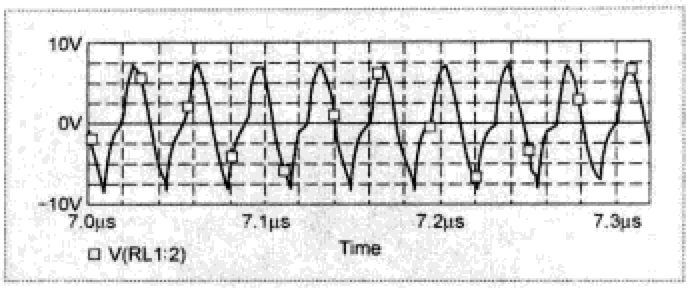


图6 利用Probe窗口的放大功能显示的振荡器负载RL的输出电压波形

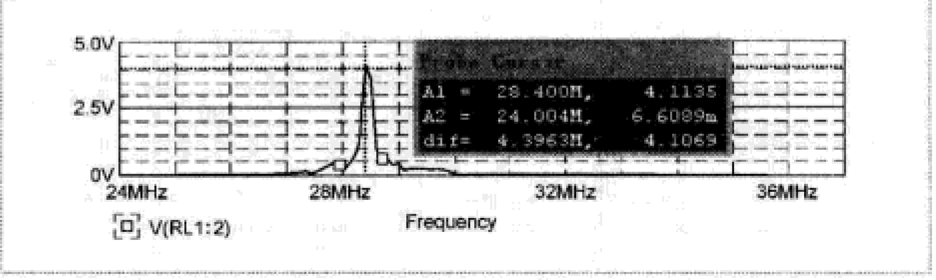


图7 用傅里叶（FFT）分析功能对LC非线性振荡器的振荡频率和电压幅度进行的分析

计算机仿真中快速起振，并且使其频率和幅值短时间内稳定下来。这里我们让LC非线性振荡器快速起振的独特方法是针对电路仿真中不起振的原因（即PspiceA/D程序中都是理想化元器件，在电路中没有噪声和干扰的情况），采取在LC非线性振荡电路的供电电源中加入跳动性干扰电压的措施。即在接通电源电压后的0.1μs时，让电源电压 有一个从12V到0V再到12V的跳动，人为的在电路中加入干扰电压信号，顺利解决了LC非线性振荡电路起振难的问题，并且短时间内使频率和振荡幅值稳定了下来。

下面是实施的仿真过程：利用OrCAD的Capture CIS程序画出图1所示电路。这个电路图还可被复制粘贴到Word文档中，方便编辑文稿。欲要实施仿真，电路中的元器件必须从pspice库中选取。设置分段线性源电压值后,按图标设置仿真参数,从跳出的对话框中选择Analysis标签页，在Analysis type栏中选择Time Domain(Transient)选项，即“瞬态分析”项，在Options栏中选择General Settings选项，在Start saving data after框中，填写瞬态分析的启始时间：0s，在Run to time框中填写瞬态分析的终止时间：10μs。点“确定”按钮，按按钮，Capture CIS程序自动调动pspiceA/D进行仿真分析。仿真结束后，如不出现意外，在Probe窗口中就会出现“时间—幅度”坐标系。在电路图的负载电阻RL1上端放置电压显示指针，则在Probe中就会显示出如图5所示仿真结果，这就是振荡电路的负载上的输出电压波形。用鼠标箭头选取适当部分图形，按按钮则会放大这部分图像，放大后的图像波形如图6所示，可以看到振荡波形不是标准的正弦波。如果RL1的数值在5kΩ以上，则RL1的波形还会成为脉冲波，按按钮，会显示如图7所示的对这个克拉泼振荡器的振荡频率和电压值进行的傅里叶（FFT）分析，从图中可观察到振荡频率为28.400MHz，电压值4.1135V。通过仿真分析，我们知道图1所示的LC非线性振荡器电路能正常起振，起振后频率和电压值稳定，适宜制作。

由于使用的是Cadence OrCAD的试用版，仿真结果的波形及FFT图形在程序中是无法保存下来的。那么怎样保存仿真结果呢？我们可以利用电脑“画图”的抓屏功能，即首先把仿真结果显示在电脑屏幕上，然后按电脑键盘上的Print Screen SysRq键之后，在电脑中执行“开始—程序—附件—画图—编辑—粘贴”操作，在“画图”程序界面中就出现了仿真结果画面，在“画图”程序中用“选定”功能切割下仿真结果的波形或图像，就可复制粘贴保存在Word文档中了。

2. LC非线性振荡器的测试

图8是制作LC非线性振荡器的实际线路图，电源部分是220V交流市电降压成14V的低压交流电后，经过整流二极管VD （1N4007）整流，电容C9滤波，12V稳压集成电路LM7812C稳压，再经C7、C8滤波后供给LC非线性振荡器工作在短波28MHz左右，频率范围虽然属于高频，但它低于射频40MHz的界线，因此它在线路板上的引线及其走向不会过多影响到振荡电路的性能，所以在万用线路板焊接电路时只要元器件接线无误，焊接完毕再经检查无误后即可加电测试。测LM7812C的电压输出端2脚时，应有12V的直流电压，断开LM7812C的电压输出端2脚，串入电流表，电流表读数应在40mA左右。这是振荡电路产生振荡之后所需要的总电流。如果再断开电感L1与电容C3的连接点，电路会停振。这时电流表的读数应在2mA左右，这是振荡器的静态电流。电路停振后，晶体管2N2222A的基极电压为0.9V左右，发射极电压为0.2V左右，集电极电压为电源电压12V。连接上电感L1与电容C3之间的断开点后，电路重新起振。

如果还用普通万用表的电压挡测试晶体管极间电压，会发现极与极之间电压值均在几百伏甚至千伏以上。好奇的同学可能会问，这是怎么回事呢？其原因是，这时的电路中有很强的高频电流，普通的万用表不适用于测量高频电参数，以至造成了巨大的误差。这时应选用高频仪器测其电参数。图9是用60MHz数字示波器ADS1062C测量的振荡电路中C5外端的输出电压波形，其峰峰值电压为12V左右。示波器的探针及连线对于28MHz左右的高频短波电流来说相当于一个天线，这个天线的负载约在400Ω左右。这就是在振荡电路仿真时，RL1选取400Ω的原因。

图9的下半部分是振荡电路输出电压的FFT傅里叶频率分析，实际振荡频率在28.99MHz左右，与仿真结果只是略有差别。从输出波形上看不是正弦波，这也与仿真结果基本相吻合。这作为无线电通信的调频载波来说是无所谓的，但如果用作无线电通信的调幅载波就不行了。那么，怎么得到标准

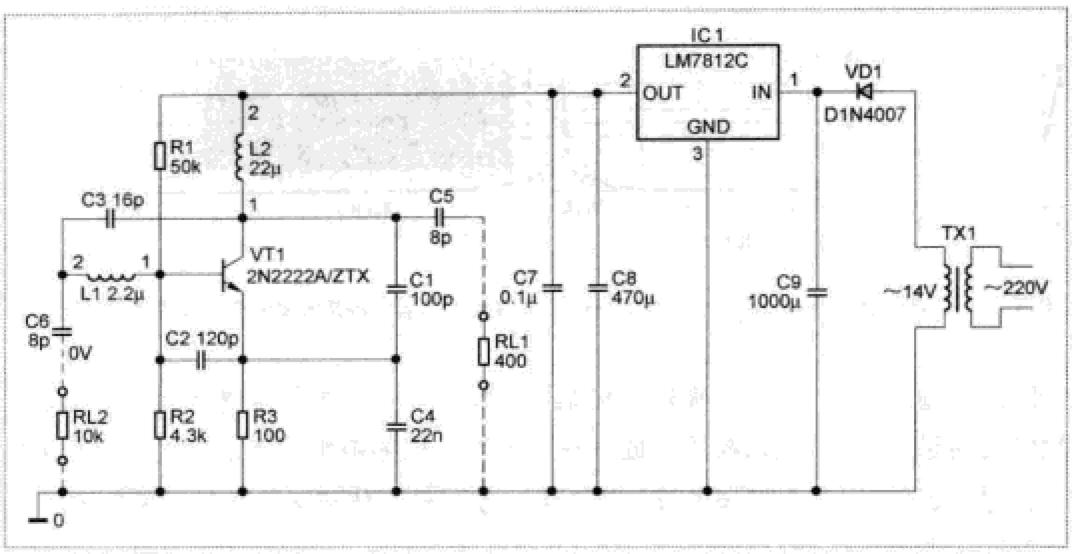


图8 实际制作的振荡器线路图

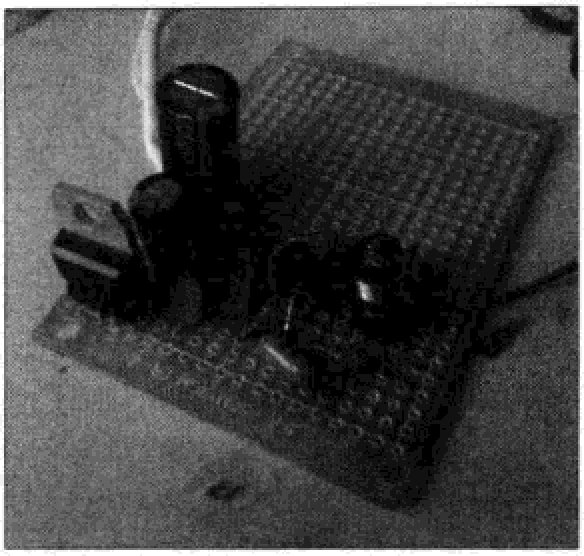


图12 实际制作的振荡器

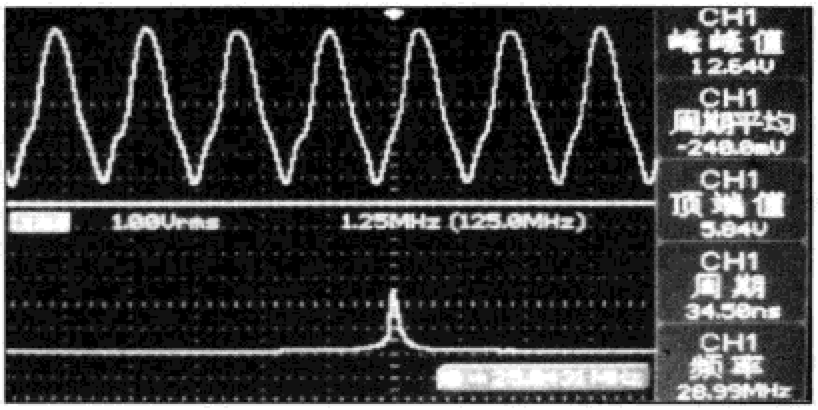


图9 实际制作的振荡器负载RL1端的输出波形及FFT傅里叶频率分析图形

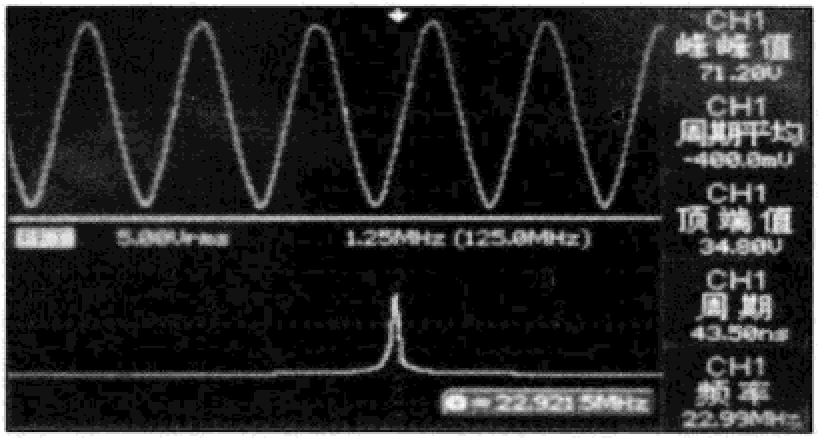


图10 实际制作的振荡器负载RL2端的输出波形及FFT傅里叶频率分析图形

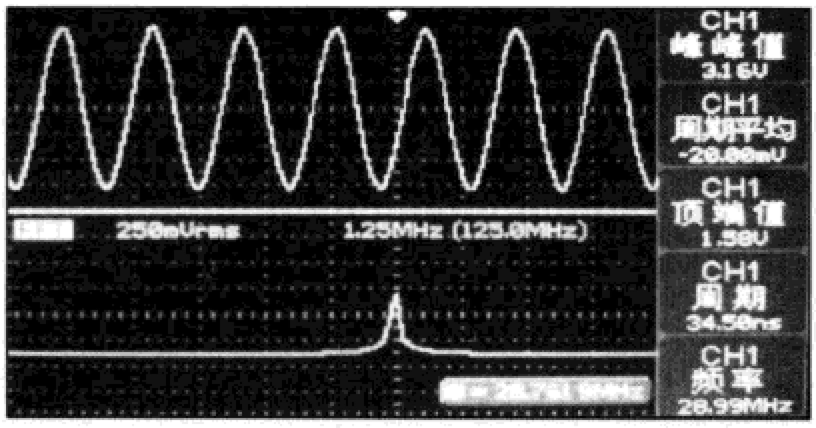


图11 示波器探头靠近实际振荡器的L1的2端时感应出的正弦波及FFT傅里叶分析图形

的正弦波输出呢？图8中负载RL2输出的电压波形如图10所示就是纯正弦波，并且电压幅度大了好几倍，为71V左右，但其承受负载能力较差。可以作为调幅载波使用。

图10的下半部分是其频谱FFT分析，我们注意到其频率是22.99MHz，振荡频率为什么改变了呢？这是示波器的接入改变了高频振荡电路原有的电参数造成的，只不过不同的场合影响会有大有小罢了。那么怎样才能测量到真实的高频振荡电压波形和FFT频率分析呢？示波器不接入高频振荡电路，就会很少影响到电路的电参数，这是很简单的道理。不接入电路怎么测量呢？方法是有的，用ADS1062C示波器的探针只是靠近L1的2端，相距1mm左右，由于高频短波电流的电磁感应，在ADS1062C示波器的探针及引线中就会感应出高频振荡电路中的高频电压波形的本来面目，同时显示出其固有的频率。图11所示就是用这种方法测到的正弦波，频率为28.99MHz左右。

图12所示为做好的振荡器，在制作中，如果使用W317稳压集成电路制作的可调稳压电源给振荡电路供电，空载时稳压值调节至12V及12V以上（比如24V）时，在接通振荡电路的瞬间，电源稳压值会下降到10V左右（仍能维持振荡的电压），利用LC组成的π形滤波器加强可调稳压电源的高频滤波后，电源稳压值有所回升，但达不到空载时的稳压值。通过分析可知，W317的高频特性较差。这个结论还可以从另一个实验得出：让采用W317的可调稳压电源空载，稳压值调至24V，用其负极（正极已接可调稳压电源的机壳，这样省去了W317的散热片）单线点触利用其他电源供电处于工作状态的频率为28MHz左右的振荡电路的输出端，会观察到可调稳压电源的空载稳压值有趣的下降到5V左右。

通过这次制作，可以初步了解LC非线性振荡器的原理及其Pspice仿真。对实际制作的LC非线性高频短波振荡器及其测试有一个初步认识和感知。在电路的实际制作中，要学会运用万用表、示波器对电路参数进行测量，并能够对测量中得出的数据进行认真分析，总结出合理的结论。

4款常见2.4G无线模块横向对比

◎刘亮

笔者在本刊今年第6期和第7期与大家分享了无线鼠标与无线键盘的改造，不知大家成功了没有？笔者自接触无线电以来，感受颇深的就是高频的电路难以调试，需要用到很多专用的仪器，而当时无线模块产品价格都比较昂贵，利用无线传输数据很难实现，而现在，无线数据传输已经逐渐走进了日常生活的方方面面：无线鼠标、键盘，还有非接触智能卡、无线网络、无线语音和无线监控等。

无线数据模块在传输速率方面，大致可以分成低速模块与高速模块两类。

低速模块一般最高传输速率为150kbit/s以下，它们的工作频段一般在315/433/915MHz，这个频段大家是不是很熟悉呀？对了，我们常用的PT2262与PT2272无线遥控器使用的就是315MHz或者433MHz频段，在这个频段传输数据有一个优点，就是穿透能力强，距离可以相对远一些，能传输数百米。但是由于应用范围广，满大街的汽车电子锁都用这个频段，干扰能不大吗？因此数据传输的速率也不能太高。

高速模块一般是指传输速率在500kbit/s以上的无线模块，一般工作在2.4GHz频段，这个频段干扰相对比较少，但是由于频率越高，穿透能力越弱，2.4G无线模块一般工作在直线无遮挡的环境下，距离大致在几十米。

两种模块各有优缺点，互为补充，本文着重介绍一下2.4GHz频段的无线高速数传模块。相对于低速模块，它们的普及程度离我们更近，在不久的将来应用会越来越广泛。

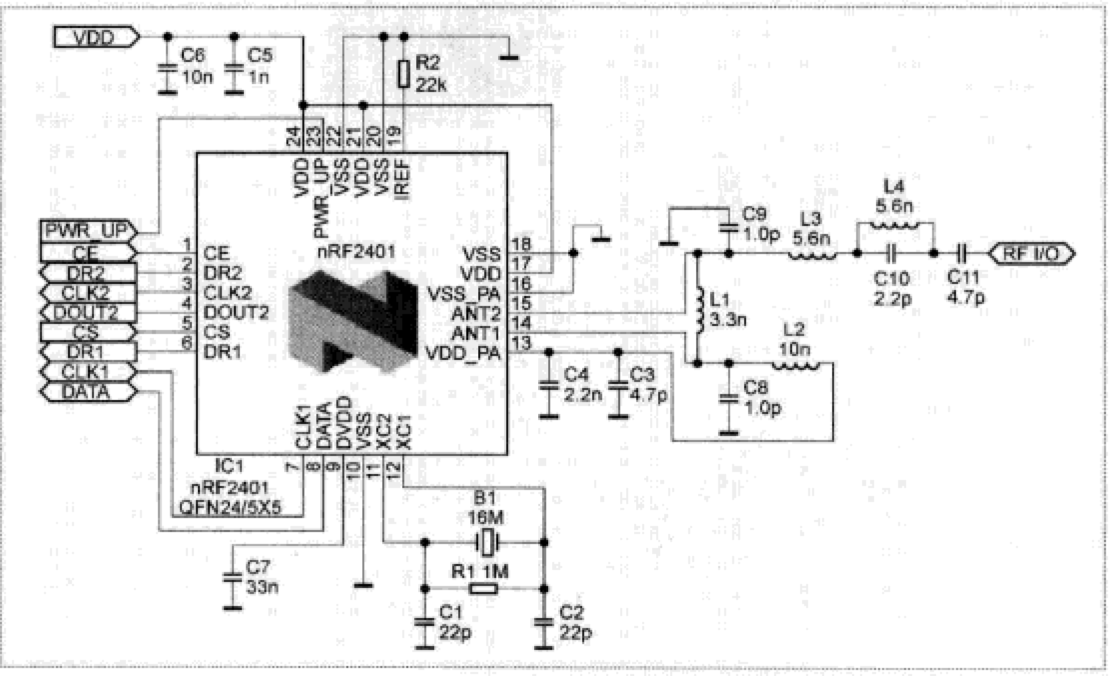


图1

在此，主要介绍4种高速模块,分别是nRF2401AG无线模块、CC2500无线模块、BK2411无线模块和nRF24L01无线模块，为了比较它们之间的差异，就以nRF2401AG为例作一番比较。

nRF2401AG

nRF2401AG无线模块是Nordic公司的产品，工作频率范围为2.4GHz频段,125个频道。采用GFSK调制时的数据速率为高速率1Mbit/s,高于蓝牙,具有高数据吞吐量。nRF2401内置了CRC纠检错硬件电路和协议。发射功率、工作频率等所有工作参数全部通过软件设置完成。使用1.9~3.6V低电压,满足低功耗设计需要。每个芯片可以通过软件设置最多40位的地址,只有收到本机地址时才会输出数据(提供一个中断指示)。nRF2401AG系列有一个只有发送功能的模块，使用的芯片为nRF2402G，如果只需要发送，可以考虑选用该模块。

典型应用见图1，外形见图2、图3。

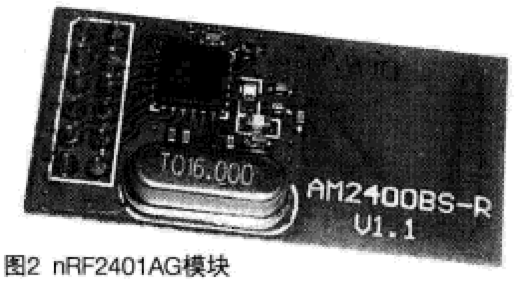


图2 nRF2401AG模块

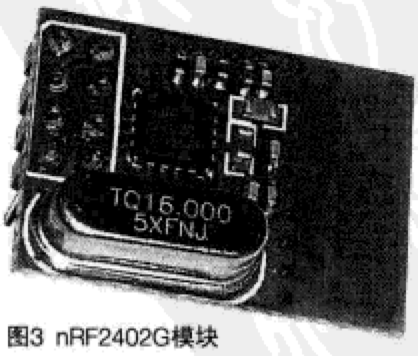
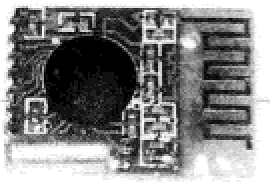


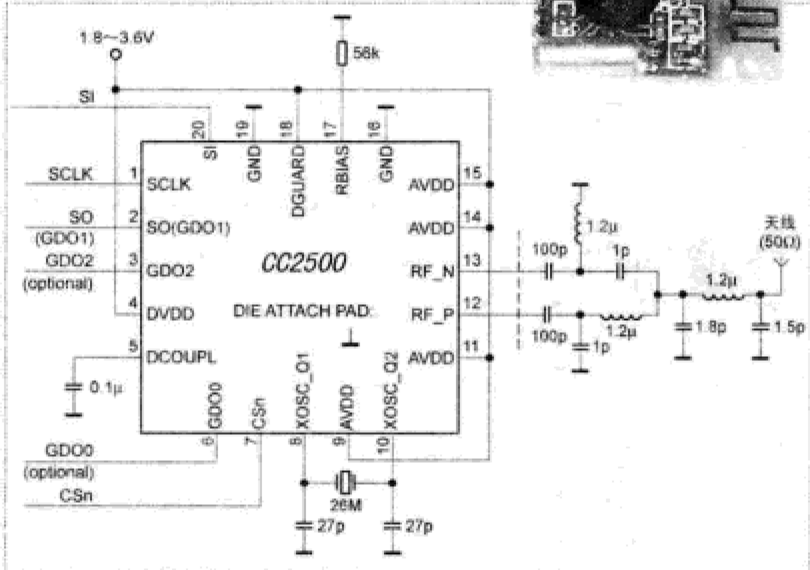
图3 nRF2402G模块

CC2500

CC2500 无线模块是美国 TI 的产品，与 nRF2401AG 相比，具有 OOK/ASK/2-FSK/MSK 等多种调制方式，在不同的环境中可以根据需要采取相应的工作方式，提高了工作效率；CC2500 的输出功率比 nRF2401AG 高，最高可达 1dbm，支持每个数据包连接质量指示，具有单独的 64 字节 RX 和 TX 数据 FIFO，能依次发送或者接收更大的数据包，在芯片中集成了各种纠错评估指示电路，属于一种比较严谨的数传模块。它的不足之处在于传输速率不如 nRF2401AG，不过对于一般应用，500kbit/s 的速率也足够了。

典型应用见图4，外形见图5。

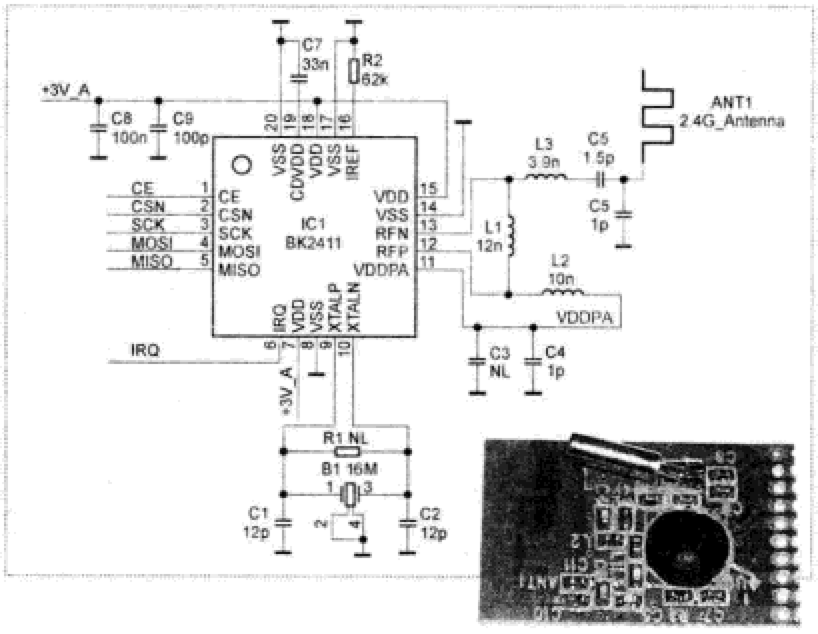




BK2411

BK2411无线模块是上海博通的产品，采用FSK与GFSK调制方式，具有1Mbit/s或者高达2Mbit/s的传输速率，而且可编程输出功率：-35dbm、-25dbm、-15dbm、0dbm、5dbm，与前两款模块相比，它最大的优势在于具有6个数据管道，可组成1：6星形网络；同时，每个数据管道具有收发32字节的FIFO。它的缺点在于功耗控制相对于其他模块稍弱，而且同等误码情况下，距离不及其他模块，但是由于价格因素，该模块还是比较有性价比的。

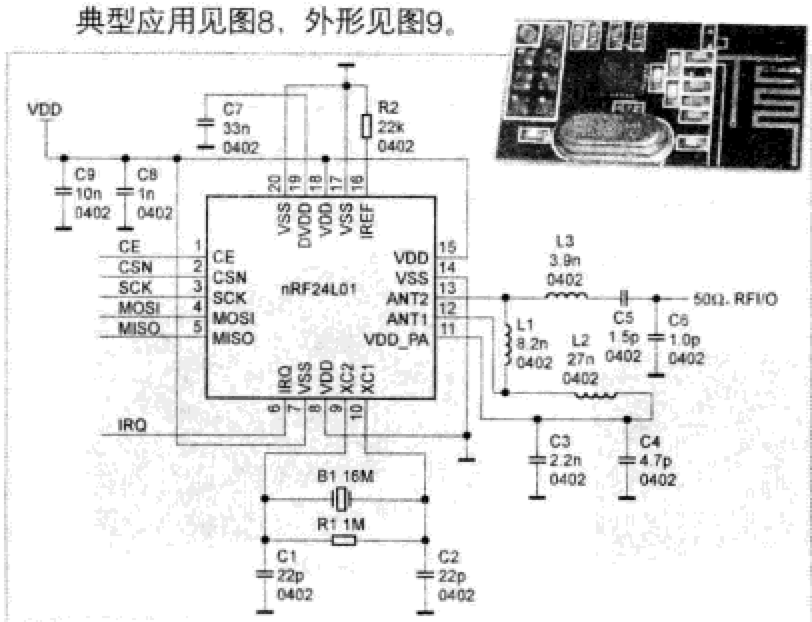
典型应用见图6、外形见图7。



nRF24L01

nRF24L01无线模块是Nordic公司在nRF2401AG基础上的升级产品，具有130μs的快速切换和唤醒时间，与BK2411一样，特有的MultiCeiverMT硬件同时提供6个接收机的功能,另外，将nRF2401AG的1Mbit/s的速率提升至2Mbit/s，使得高质量的VoIP 成为可能，nRF24L01在低功耗方面尤为出色，特别适合采用钮扣电池供电的2.4GHz应用，整个解决方案包括链路层和MultiCeiver功能，提供了比nRF2401AG 更多的功能和更低的电源消耗,与目前的蓝牙技术相比，在提供更高速率的同时，只需更小的功耗。

典型应用见图8、外形见图9。



在此，将各个模块重要参数进行简单的比对，见附表，希望对大家的选择有所帮助。

附表

	NRF2401AG	CC2500	BK2411	NRF24L01
工作速率（bit/s）	1M	MSK:500k OOK/ASK/ 2-FSK:250k	1M、2M	2M
发射功率（dbm）	0	可编程，最高1	-35、-25、-15、-5、0、5	0
工作电压(V)	1.9~3.6	1.8~3.6	1.9~3.6	1.9~3.6
工作频率范围（MHz）	2400~2524	2400~2483.5	2397~2483.5	2400~2524
信道数	125	90	85	125
调制方式	GFSK	OOK ASK 2-FSK MSK	FSK、GFSK	GFSK
数据包	RX:28B FIFO TX:28B FIFO	RX:64B FIFO TX:64B FIFO	RX:32B FIFO TX:32B FIFO	RX:32B FIFO TX:32B FIFO
接口	SPI	SPI	SPI	SPI
工作温度(℃)	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85
多点通信	不支持	不支持	1：6星形网络	1：6星形网络
参考价格（十片以上）	15元	13元（裸片邦定封装）	10元（裸片邦定封装）	18元

结束语

2.4G模块其实远不止这几款，但是大多在工作方式、传输速率和网络构成上都大同小异，掌握一种自己熟悉的2.4G模块也许会在很多开发应用上开辟一种新的思路。

另外，最近在搜索网络时发现有人在研制无线编程器，通过两块无线模块配合对单片机进行无线编程，这其实也是一种很好的应用，有兴趣的读者可以试试。

实测简化版TEA5767调频收音模块

◎刘作新

放暑假了，终于有时间和心爱的单片机结伴而行啦。这次用单片机来执行什么任务呢？笔者正在思考这个问题时，无意中看到了妻子正在用手机一边发短信一边听广播。我的眼前一亮，早就有资料介绍过，现在的数码产品（如手机、MP3、MP4、PDA等）中，接收调频广播大都是由TEA5767调频收音模块来完成的。TEA5767调频收音模块是通过I²C总线或3线总线通信方式来控制的，我何不用单片机来驾驭它，制作一个数控调频收音机呢？

说干就干，马上上淘宝网搜寻出售TEA5767调频收音模块的商家信息，一下子搜索出了140多个出售TEA5767模块的商家。这些商家标出的信息引起了我的注意，“完整版TEA5767模块7元，简化版（又称简版、简体版）4.5元”、“简化版和完整版相比，非立体声而且频段和接收能力有弱化，完整版可稳定接收12个台，简化版只能接收4、5个台”。完整版和简化版的TEA5767调频收音模块实物照片如图1、图2所示。

从实物照片可以看出，简化版模块上的元件数量比完整版模块上的元件数量有所减少，即电路作了适当的精简，我想这也是简化版称呼的由来吧，元件减少了，成本自然降低了，简化版模块自然比完整版模块便宜啦。简化版称呼的由来与价格便宜我们从实物对比可以分析出来，那么简化版与完整版相比是不是性能也被“简化”了？真的像商家所说的那样“简化版和完整版相比，非立体声而且频段和接收能力有弱化，简化版只能接收4、5个台”？商家的这句话表达出了简化版模块的三个问题：不是立体声音频输出、收音接收频段变窄、灵敏度降低了。真的如此吗？如果真的存在上述三个问题，厂家为什么还要生产简化版模块？他还有市场生存空间吗？这一连串的问题激发了我的探究欲望，我决定同时购买简化

图1 完整版模块

图2 简化版模块

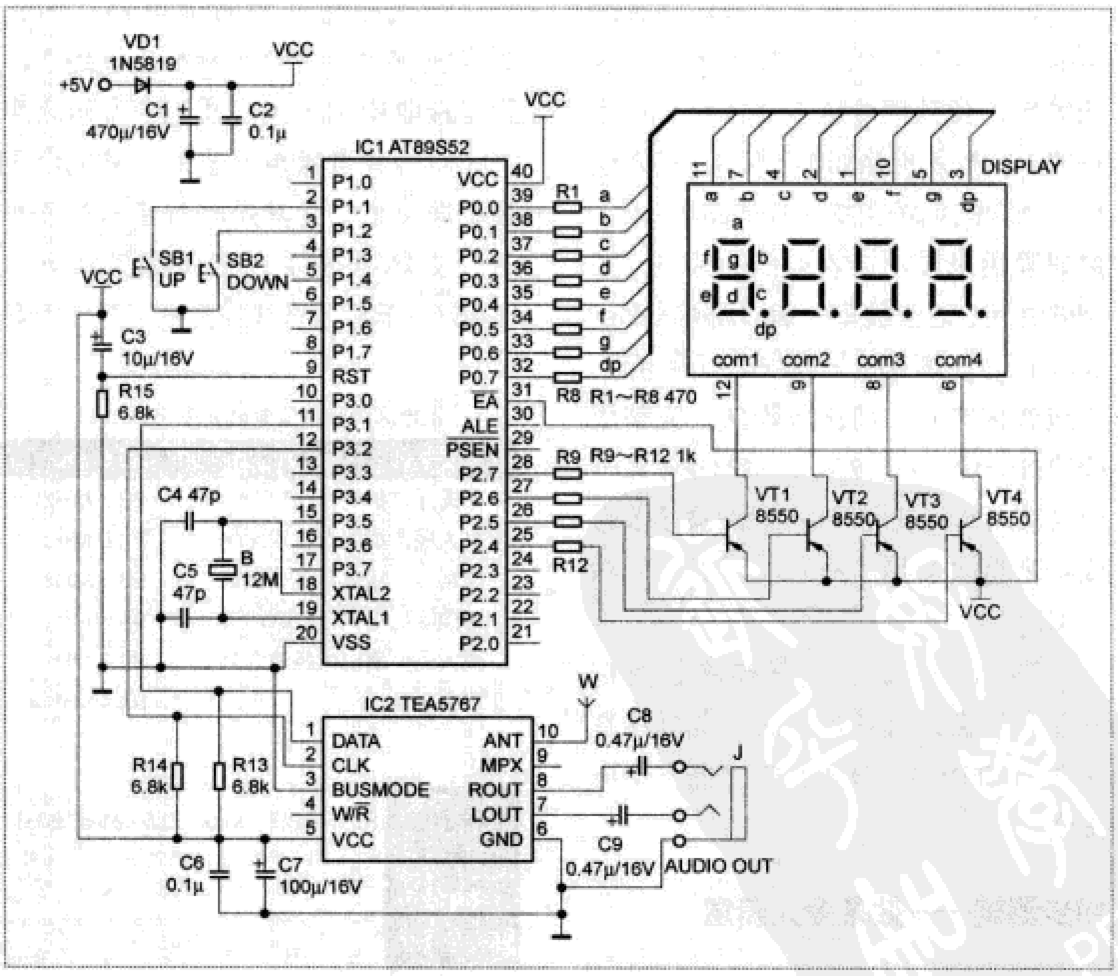


图3

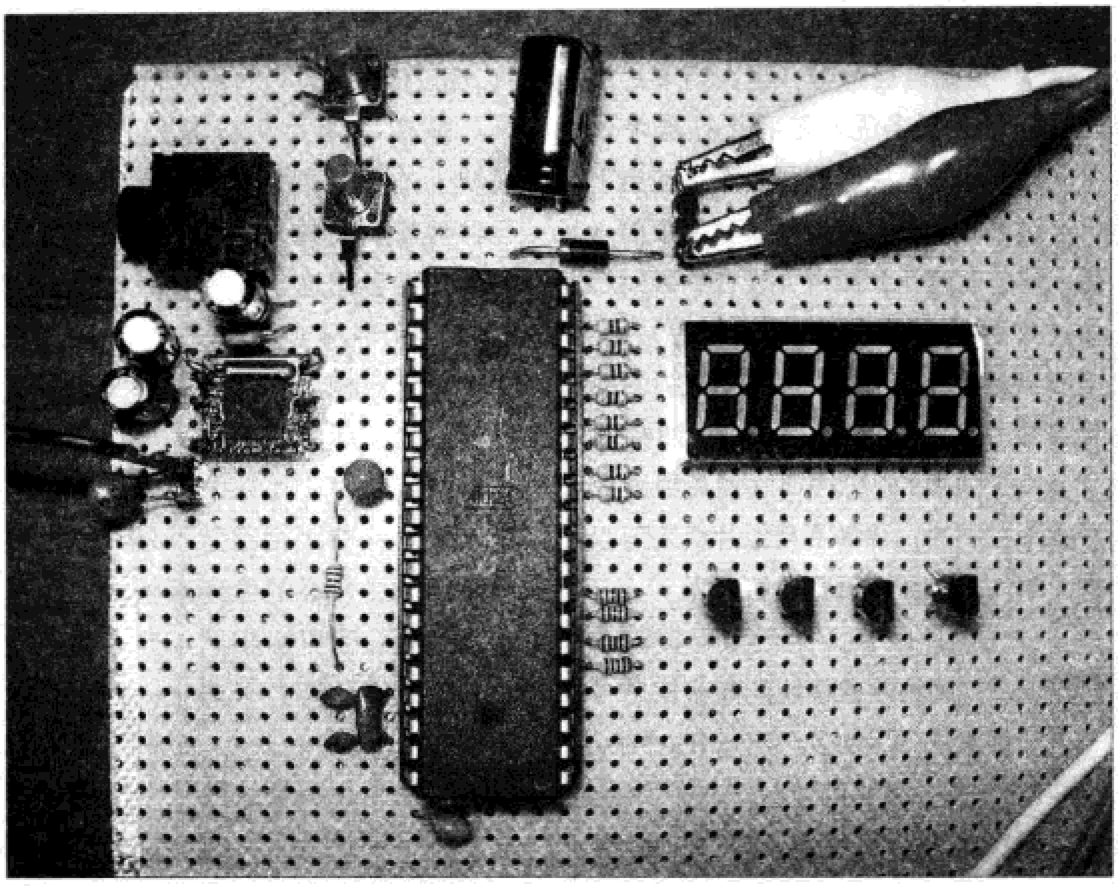


图4

版模块、完整版模块，进行对比测试，一探究竟，揭开这些“谜团”。

测试环境

北京市区，钢筋水泥浇筑楼房的8层。80cm软导线作为接收天线。模块输出的音频信号送入立体声有源音箱放大。控制电路如图3所示，在万能板上搭焊的电路实物照片如图4所示，数码管用来显示接收电台的频率。控制软件用C语言编写，编译环境为Keil μVision3。单片机与模块之间采用I^2C总线通信方式。简化版模块、完整版模块各一块，iAUDIO U2 MP3播放器一台（其内部也是采用TEA5767调频收音模块来接收调频广播），三者进行对比测试。

TEA5767调频收音模块的各控制字节的含义及基本控制方法可参看TEA5767HN芯片技术文档。这里不再赘述。

初步测试——效果令人满意

测试方法：笔者居住的地区有14个调频广播电台，将这些电台的频率逐一通过单片机写入模块进行接收，即人工指定接收频率。这14个调频广播电台的频率分布如表1所列。

测试结果让笔者很惊喜，简化版模块14个电台全部顺利接收到了，除了接收中央人民广播电台音乐之声90.0MHz背景噪声大些外，其他台声音干净清晰，尤其是收听音乐类节目时，立体感很强，音质优美动听，TEA5767调频收音模块完全可以作为音响系统中的优质节目源。完整版模块接收这14个电台自然不在话下了，接收中央人民广播电台音乐之声90.0MHz也有背景噪声。iAUDIO U2 MP3播放器接收中央人民广播电台音乐之声90.0MHz、北京音乐台97.4MHz有背景噪声。

测试结论：在接收电台的同时，用单片机读取TEA5767HN的立体声指示位，此位指示为1，表明是立体声接收状态，实际收听效果也证明了简化版模块是立体声音频输出。波段低端的北京文艺台87.6MHz与波段高端的北京城市管理广播107.3 MHz都顺利接收到了，可以证明简化版模块接收频段范围符合我国的调频广播频率范围87～108MHz。主观感觉简化版模块的工作效果令人满意。

灵敏度检测——确有降低

测试方法：人工设定接收频率，每接收一个电台，都用单片机读取一次TEA5767HN 内部的 ADC 电平值，并通过数码管显示（原来数码管是用来显示电台频率的）。测试结果如表 2 所列。

测试结论：从TEA5767HN的内部组成电路方框图可知，ADC电平值反映了接收电台的信号强度，但是这个信号强度也和模块的灵敏度有关，在测试环境和测试条件都相同的情况下，

表1　本地区调频广播电台列表

北京文艺台	87.6MHz	北京新闻台	100.6 MHz
中国国际广播电台HIT FM	88.7 MHz	中央人民广播电台都市之声	101.8 MHz
中央人民广播电台音乐之声	90.0 MHz	北京体育台	102.5 MHz
中国国际广播电台环球资讯	90.5 MHz	北京交通台	103.9 MHz
中国国际广播电台EASY FM	91.5 MHz	中央人民广播电台中国之声	106.1 MHz
中央人民广播电台经济之声	96.6 MHz	中央人民广播电台文艺之声	106.6 MHz
北京音乐台	97.4 MHz	北京城市管理广播	107.3 MHz

表2

电台频率（MHz）	87.6	88.7	90.0	90.5	91.5	96.6	97.4	100.6	101.8	102.5	103.9	106.1	106.6	107.3
ADC电平值（完整版）	9	9	5	6	5	7	8	7	7	10	10	7	7	9
ADC电平值（简化版）	5	6	1	2	2	4	5	4	3	6	7	3	4	4

接收相同的电台，灵敏度高则ADC电平值也相应提高，灵敏度低则ADC电平值也相应降低。从表2的测试结果可以看出，简化版模块确实比完整版模块灵敏度降低了。

自动搜台检测程序的编写探讨

上面的测试都是人工设定接收频率，在实际应用当中要通过单片机的控制实现自动搜索电台，这样才具有实际应用价值。自动搜台的检测与判断要由软件来实现。

1. 传统自动搜台的软件操作流程（以向上搜索为例）

这种搜索方式是技术文档推荐的操作流程。流程图如图5所示。从流程图中可以看到，判断是否搜索到有效电台要经过两个判断过程。

第一步，中频判断。读取TEA5767内中频计数器计数值，此计数值代表了中频频率，判断中频频率是否符合要求，即中频频率是否在0x31至0x3e范围内，如果符合要求则进行第二步判断。0x31至0x3e的范围是技术文档中给出的中频范围。

第二步，电平判断。读取TEA5767内ADC电平值，此值代表了接收电台的信号强度，如果电平值大于设定的阈值，则证明搜索到了一个有效电台，此时可以停止搜索，收听这个电台的广播了。如果想继续搜索其他电台，则从流程图中的S点重复这些判断步骤就可以了。ADC电平值的范围是0～15，设定的阈值要在这个范围之内，阈值太小会出现假台，阈值太大会漏台。

在上面两步的判断过程中，只要有一步不符合要求，就返回S点，增加步进值后继续搜索，直至两步判断都通过为止。当频率增加到频段上限值（即BLF=1）时，退出自动搜索状态。之所以要作两步判断，是为了排除假台（电台的镜像频率）及干扰信号引起的误动作。

按照上面的流程图笔者编写了自动搜索程序，用此程序控制简化版模块时，将电平判断中的阈值根据实际情况进行了合理的设置后，实现了自动搜索，但是效果不理想。14个电台都搜索到了，也搜索到了4个假台。将电平判断中的阈值调高后，搜索到假台的问题虽然消失了，又出现了漏台的问题，有3个信号较弱的电台在自动搜索中漏掉了。不管怎样调整阈值，出现假台和漏台的问题都无法兼顾解决，总是顾此失彼。完整版模块用此程序控制时同样存在相同的问题。

2. 问题的分析

漏台的问题容易理解，由于阈值设置偏高，弱台的ADC值低于此阈值，就被判断程序排除掉了，引起了漏台。

在出现假台的时候，笔者发现了如下规律：假台都是出现在有效电台的两侧，可以收听，但效果很差，有效电台左侧的假台频率为$f_{假}=f-100kHz$，有效电台右侧的假台频率为$f_{假}=f+100kHz$，f为有效台的频率。

之所以可以搜索到假台，是因为假台的频率和有效台的频率很接近，假台的信号频率经过混频后也可以得到225kHz左右的中频信号，从而进入中频放大器得到放大，放大后可以由ADC电路转换出ADC电平值，当ADC电平值大于或等于程序中的检测阈值时，就被认为是“有效台”了。因为假台处于有效台的两侧，是有效台的镜像频率，所以假台的信号强度要比有效台弱，ADC值自然也比有效台低了，既然ADC电平值存在区别，就可以利用

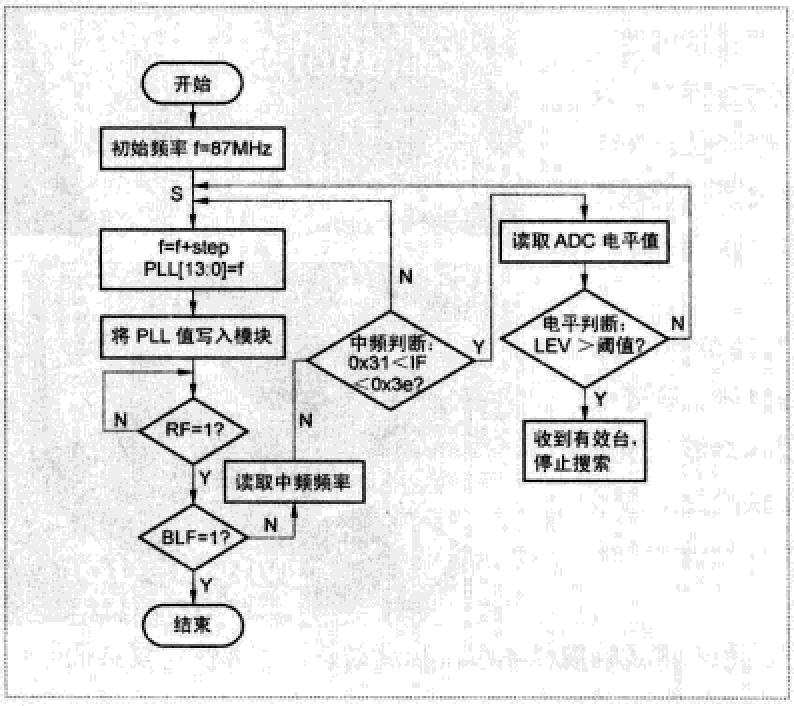


图5

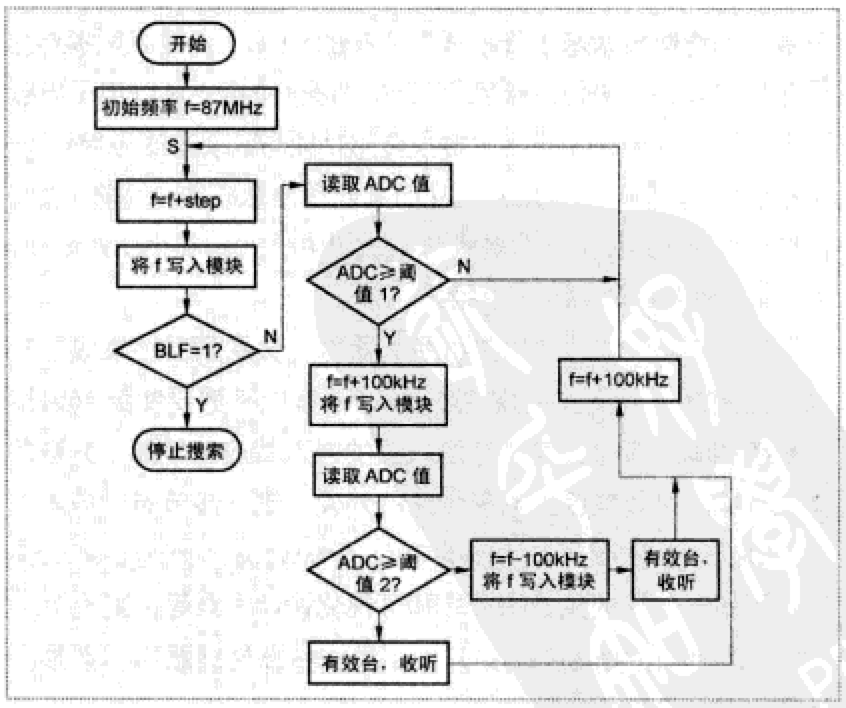


图6

这个差异排除假台，选出有效台了。

笔者根据上述分析思路设计出了下面的自动搜台判断方法。

3. 两次ADC电平阈值判断，逐次逼近搜台法

这种自动搜台方法的流程图如图6所示。仍以向上搜索为例。

在此方法中，笔者去掉了中频判断环节，因为假台的信号频率经过混频后也可以得到225kHz左右的中频信号，因此中频判断环节不能够把假台排查出来。

工作流程分析

第一次ADC电平阈值判断，这是对电台的初筛。这时的阈值1设置得比较低（低于阈值2），这样的设置是为了避免漏掉信号弱的弱台。如果ADC值小于阈值1，则认为无台，返回S点增加步进值后继续搜索。如果ADC值大于等于阈值1，则认为搜索到一个电台，此时将f增加100kHz，并写入模块，之后进行第二次ADC电平阈值判断。

第二次ADC电平阈值判断，如果f增加100kHz后检测到的ADC值大于等于阈值2（阈值2大于阈值1），则f增加100kHz后接收的电台是有效台，在第一次ADC电平阈值判断中用频率f搜索到的是假台，因为假台的信号强度要比有效台弱（阈值1<阈值2）。这样通过第二次ADC电平阈值判断，将有效台左侧的假台排除掉了。

如果f增加100kHz后检测到的ADC值小于阈值2，则在第一次ADC电平阈值判断中用频率f搜索到的是有效台，此时要将先前增加的100kHz减掉，并写入模块。

在第二次ADC电平阈值判断结束后，如果想继续搜索，则在当前的频率基础上增加100kHz，之后返回S点继续搜索。在当前的频率基础上增加100kHz的目的是消除有效台右侧的假台。

向下搜索的流程与向上搜索的流程相同，只是要将f加步进值改为f减步进值，读者可参照图6画出流程图。

笔者用这种搜索判断方法编写了自动搜台程序。在合理的设置阈值1与阈值2后，在自动搜台时既无假台出现，也没有漏掉弱台，在两个版本的收音模块上应用效果都比较理想。至于商家所说的“简化版只能接收4、5个台”，应当是自动搜索程序没有编写好产生的。硬件是躯体，软件是灵魂，只要软件编写好了，硬件会发挥得淋漓尽致的。

通过这次对简化版TEA5767收音模块的测试与实际应用，笔者认为简化版模块与完整版模块相比，除了灵敏度有所降低外，其他性能没有差异。灵敏度虽然降低了，但对实际接收效果没有大的影响，在可接受的范围内。更何况简化版模块在价格上还具有优势，它是有市场竞争力和生存空间的。

编译好的烧写文件FM RADIO.hex可从本刊的网站上下载。

Microchip发布人机界面解决方案

2010年6月，Microchip发布了一系列人机界面解决方案，包括：

扩展mTouch电容式触摸传感技术能力

业界第一个也是唯一的一项可以以金属为前面板的电容式触摸传感技术。这一免版税的稳健技术基于最初成功发布的mTouch电容式触摸传感技术，目前能够透过手套和在表面有液体的情况下工作，它也使盲文可以用于电容式触摸传感界面。设计人员可以将mTouch电容式触摸传感功能与其现有的应用代码一起集成于8位、16位或32位PIC单片机（MCU），从而降低系统总成本。目前，关于实现这些新功能的资料均可从Microchip的在线触摸传感设计中心（www.microchip.com/get/4JJ0）下载。

集成并简化PIC24F单片机的图形功能

8款PIC24FJ256DA单片机系列器件。该系列器件集成了3个图形加速单元和1个显示控制器，以及96KB的RAM。这种集成不需要外部RAM和现实控制器，既降低了系统成本，实际上又为范围广泛的嵌入式应用增加了先进的图形显示功能。通过集成用于USB和电容式触摸传感的外设，进一步节省了成本。为了加快产品上市时间，Microchip的图形显示设计中心（www.microchip/get/Graphics）为应用设计人员提供了易于使用的免费图形库和可视化设计工具等丰富资源。

同期推出的全新PIC32开发工具支持高性能图形、音频、无线网络和电容式触摸传感按钮和滑动条，可加快对复杂图形化触摸传感人机界面设计的开发。

新品试用报告

◎《无线电》测试员

试用 OWON PDS7102T 数字示波器

100MHz的示波器是很多电子爱好者梦寐以求的仪器，看波形、测量交流信号、看时序都是示波器的强项。很多工程师和开发者对100MHz示波器有很深的情结，25MHz示波器被认为带宽太窄，60MHz示波器被认为能用，但心理档次低了一点，100MHz示波器则被认为是买得起的“好一点”的示波器。

十几年前，100MHz模拟示波器还被看成高档仪器，就像我们现在看1GHz带宽的示波器一样，现在几乎要成为普及型仪器了。从技术方面看，100MHz示波器可以比较准确地测量20MHz以下的信号（通常，业内认为示波器的带宽应是需要精确测量信号频率的5倍以上），频率覆盖比较宽，一般的单片机开发、开关电源开发、家电和通信产品的维修都已够用，就算“超一点频”，133MHz的DDR内存波形也勉强胜任。

就价格和市场方面而言，由于近年来国内示波器厂家的异军突起，推出了众多国产品牌的数字示波器，市场竞争使得国产和进口示波器的价格都有所下降。进口一线品牌的示波器性能卓越、指标严谨，但即便是降价后，价格依然令小公司和个人用户咋舌，这类产品的采购者大多是国营单位和中型以上公司。国产的入门级示波器提供了相比进口货的1/3，甚至更低的价格，使得创业中的小公司和个人用户也有机会使用主流水平的数字示波器，不一定再去淘老旧的二手示波器了。

目前，国内50～60MHz带宽的国产数字示波器全面低于2000元，花两三千元就能买到基础性能相当不错的国产100MHz数字示波器，超过200MHz带宽的数字示波器还比较贵。二手示波器在低端市场上以模拟示波器为主，一些早期的进口品牌数字示波器存在采样频率低的问题，而且使用CRT显像管，体积和重量都比较大，相对现代一点的单色液晶数字示波器（如泰克TDS210/220）的二手货价格并不便宜，甚至超过国产一线品牌新机的价格。二手示波器没有保修，指标不容易保证，有的还存在“暗病”，是用户最头痛的事，如果不是行家里手、不具备识别“好货”的能力，还不如买国产机更有保障。

目前，国产主流的入门级数字示波器基本性能相差不大，各厂家为突出自己的产品都会在某些方面制造一些亮点：提供高采样率（有的100MHz示波器具有1GSa/s的采样率），提供高存储深度（一般主流入门级数字示波器采用深度在2K~6K，高采样深度则达到1M~4M），采用高分辨率大尺寸彩色液晶屏，增强软件后期图形处理功能，USB通信电脑联机和存储功能等。

本次，我们测试了利利普 OWON 推出的一款入门级的100MHz 彩屏便携型数字示波器 PDS7102T。利利普 OWON 示波器也属于国内知名产品，大屏幕显示和高性价比是 OWON 示波器的特色。OWON 示波器除了在国内销售，还远销欧美和日本等多个国家和地区。

外观与设计

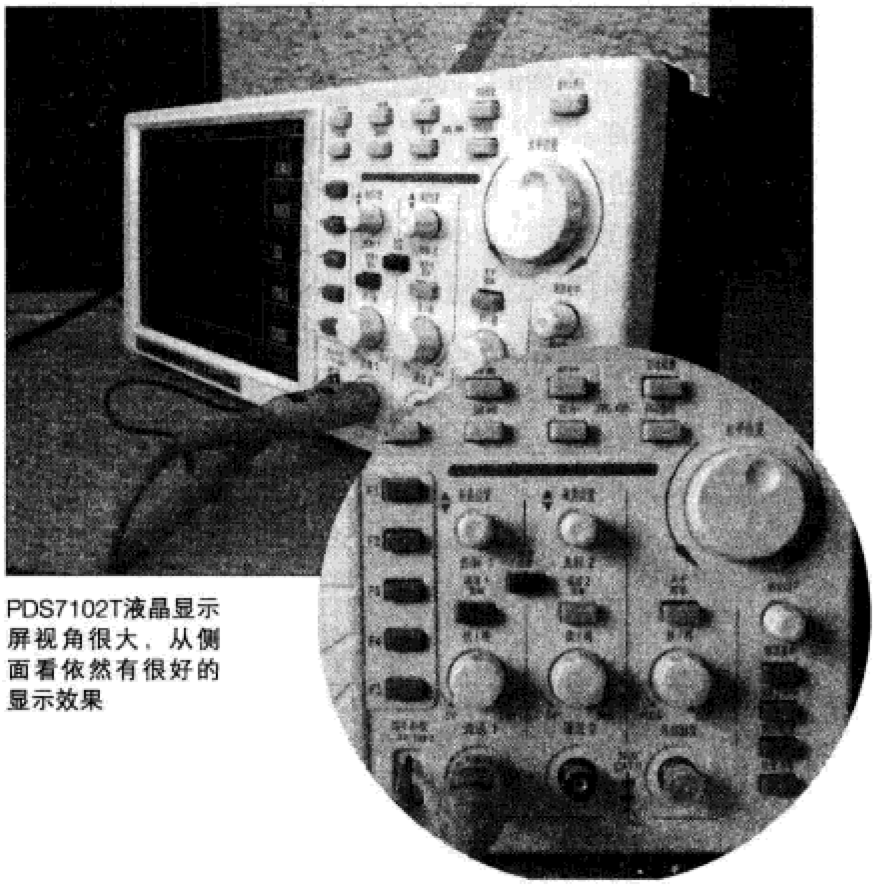
OWON PDS7102T 作为便携性设计的示波器，具有紧凑的体积和很轻的重量，而且支持电池供电（电池块作为选配件）。PDS7102T 的前后厚度只有 103mm，相比传统使用 CRT 显像管的示波器，确实要薄得多了（老式机 400mm 的深度是非常常见的），在目前同档次的液晶显示示波器中也算比较薄的。PDS7102T 不带电池的情况下只有 1.7kg，相比传

统的示波器动则二三十斤而言，显然要轻便得多，真正做到了便携。

轻便的特性得益于新一代示波器广泛采用的液晶显示屏和高效开关电源，同时线路板也高度集成化。薄机身的示波器可以使用户节约大量的桌面空间。如果用PDS7102T和老式的TEK2230相比，可以节约桌面空间75%。很多爱好者都抱怨自己的工作台面积小，其实多数都是仪器占了很大一块地方。不过，虽然PDS7102T机身比较薄，但操作前面板却丝毫不小，有350mm×157mm，比传统示波器只大不小。

OWON PDS7102T最大的亮点是使用了8英寸26万色TFT液晶屏作为显示屏，实际大小约165mm×123mm，绝对让人眼前一亮。它采用的液晶显示屏视角很大，从侧面看依然有很好的显示效果。同档次产品中，目前大多只使用5~7英寸液晶屏，而且很多都是64K色的。传统上用对角线长度来表示液晶屏大小，PDS7102T使用的液晶屏是传统4:3尺寸的，会比同尺寸的“宽屏”的有效显示面积大不少。市场上也有使用7英寸宽屏的示波器，相比之下，这“一寸之差”的实际面积差异很明显。对于示波器来说，虽然是否具有彩色液晶屏并不很重要，但大屏幕绝对有观察的优势，而且示波器的彩屏是发展的趋势，很多Agilent和R&S的高端示波器都采用高分辨率的大屏幕，因此，大屏幕的示波器常常首先给人很有档次的感觉。

尽管大屏幕与波形显示品质没有直接必然的关系，但高分辨率的屏幕有利于显示细节。PDS7102T显示屏不但面积大，而且分辨率也高，实际分辨率为640×480的VGA屏，而同档次产品，很多还在使用320×240的QVGA屏，所以PDS7102T显示屏无论实际显示面积还是分辨率，给用户的感觉都不错。实际使用中，PDS7102T的大屏显示效果很好，视角很宽，多人围观都能很好地看清显示内容，远比一些TN屏的电脑显示屏视角宽得多。



PDS7102T液晶显示屏视角很大，从侧面看依然有很好的显示效果

控制面板

OWON PDS7102T全身工程塑料外壳，机壳上的功能提示文字是全中文的，机内软件也全中文化（也可选用英文界面）。PDS7102T的8英寸液晶屏占据了面板60%的空间，操作面板的布局基本是传统泰克经典样式，按键没有安捷伦示波器那样的背光功能。特别之处是，PDS7102T将水平位置调节旋钮进行了加大设计，像“飞梭”的样子，大大提升了操作的方便程度，水平移动波形是最常用的操作之一，这个设计让我们感觉非常人性化。PDS7102T旋钮手感一般，如果能进一步提高塑料旋钮的品质，操作会更舒服，如同提高一点汽车方向盘的手感会让驾驶者更舒服一样。按键方面，PDS7102T采用胶质半软按键，手感不错，而且还对不同功能区的按键配置了不同的颜色，方便操作识别。

OWON PDS7102T采用在同类产品中不常见的无风扇自然散热形式，没有风扇，可使机器工作噪声降低到几乎静音水平，也没有了机器内部风道灰尘容易积聚的问题。我们在室温26℃的环境下连续开机，PDS7102T顶部只是温热的水平，不用担心机器的散热问题。PDS7102T支持使用专用的电池组供电，结合它的轻巧外形，可以方便现场临时测量，而且其性能和使用的方便程度要比一些手持示波表好得多。

性能与指标

PDS7102T是一台双通道100MHz带宽的数字示波器，实时采样率为500MSa/s，存储深度为5K。基础指标属于主流水平。

PDS7102T提供两个测量通道和一个外部触发通道，两个测量通道的垂直位置和垂直位移（电压）都为独立可调，水平调节和时基是共用的。PDS7102T的标称带宽为100MHz，实际的带宽指标是留有余量的。在100MHz频率下，测量幅度缩减远不到-3dB，PDS7102T提供最快5.0ns的时基，电压灵敏度最小为5mV/div，看100MHz波形是很轻松的，有较好的展开度。PDS7102T自动测量系统频率计数器基本可以计数到120MHz的水平。

虽然现在有些100MHz数字示波器都推出或者升级到1GSa/s的实时采样率，并成为一些产品的卖点，但PDS7102T 的500MSa/s的实时采样率水平，对100MHz档次数字示波器尤其是没有深存储功能的示波器基本够用。市场上有些标称1GSa/s采样率的示波器在使用双通道时，也下

降为每个通道500MSa/s。按照香农采样定理（也被称为奈奎斯特采样定理）“为了不失真地恢复模拟信号，采样频率应不小于模拟信号频谱中最高频率的2倍”，对于示波器，一般认为采样率高于4倍的信号频率更有利于对波形尤其是脉冲波的重建还原。500MSa/s的采样频率相对最高测试频率100MHz来说已经是5倍了。实际工作中，100MHz示波器测量的信号频率往往会低得多，远不到100MHz，机器的采样率也是可变的，并不总是工作在最高频率。尽管理论上更高的采样率有利于捕捉信号的细节，但对于没有深存储功能的100MHz示波器，采样率是500MSa/s还是1GSa/s，就像是安装1GB和2GB的内存运行WinXP进行基本操作一样，大部分时候差异很小，更多的是心理安慰。PDS7102T没有给出刷新率指标，不过这一档次的示波器一般都不会考虑高刷新率。高刷新率对显示视频信号比较有利，而控制好较小的温漂和噪声才是这一档次产品比较务实的设计。

PDS7102T的存储深度为每个通道5K，没有提供深存储功能。5K作为普通存储深度，在同类产品中算是比较大的，同档次产品中，大多是2.5K~4K的水平，当然具有1~2M的深存储功能的示波器另当别论。在大学和科研机构中用得很多的泰克TDS1001/1002经济型示波器的存储深度也才2.5K。

深存储的优势并不是对任何信号的测量都能明显体现出来。对于波形简单的信号，存储不用很大，但对于一些复杂信号和需要记录时长较长的信号以及抓编码波形的应用，就是具有深存储功能示波器的优势了。所以，有些中档示波器提供了普通和深存储两挡存储深度供用户选择、使用。对于主要用于信号存储、放大分析的用户，应该考虑具有真正的1M以上存储深度的机型，如果只是用来看常规波形，那么具有几K普通存储深度的机器完全够用。

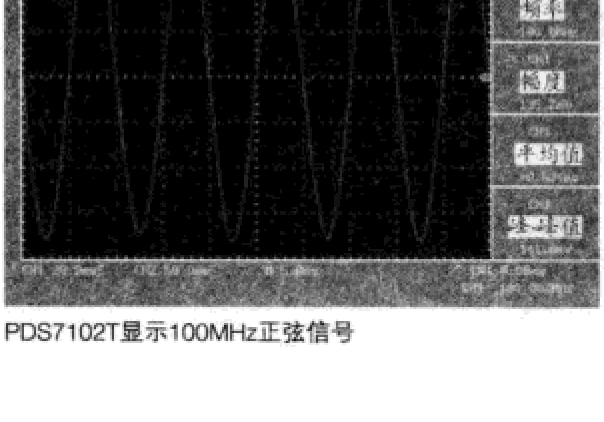
试用感受

对于熟悉泰克数字液晶示波器的用户，PDS7102T的操作不用看说明书也很容易上手，操作界面完全中文化（用户也可以切换到英文状态）。PDS7102T的随机说明书图文并茂，阐述了示波器基本用法，并附有操作实例，对于没有用过示波器的用户可以作为一本入门教材。PDS7102T基础操作方便，具有一键自动设定功能，探头输入信号按下“自动设置”按键，机器就能选择适宜的时基和电压幅度挡位，使波形迅速展现在用户面前。这种傻瓜操作对使用示波器的新手很有用，先通过自动设置看到波形，然后再根据需要进行细调。这时，PDS7102T面板上那个特别为水平位置调节功能设计的大转盘就能发挥出作用了，可以非常方便地对波形进行移动观察。

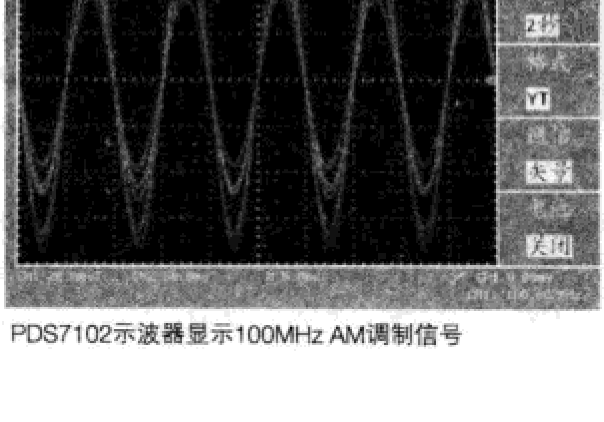
PDS7102T噪声控制得还算不错。随着开机时间的推移，机内温度的上升基线有一定的温漂现象，这时可以手动选择菜单中的“自校正”功能进行校准，校准过程大约需要35s。PDS7102T随机提供了两支T6100 100MHz的探头，有×1和×10两挡，该探头品质在国货中还算不错，当然与进口高级货相比，还是有一定差距的。

PDS7102T没有自动探头识别功能，所以探头的比例需要在菜单中自行设定。PDS7102T触发方式有很多可以设置的项目，提供基本的边沿触发和视频触发。PDS7102T显示简单波形的性能很好，看上去比较平滑。对于显示通信调制信号，如AM调制、FM调制信号，需要设置启用“持续”功能，就能看到在像模拟示波器上测试所显示的图形。我们测试了一个智能充电器的充电电压波形，效果很好。

PDS7102T具有丰富的自动测量功能，在屏幕的右下角会自动显示CH1通道输入信号的电压幅度和频率。在PDS7102T操作面板上，有测量专用按键，可以进行自动测量和手动光标测量。自动测量模式下，PDS7102T可以同时提供4个项目的实时测量显示，可选的测量项目有20种之多，包括频率、幅度、平均值、峰-峰值、占空比、上升/下降时间等。借助自动测量模式，信号的主要参考量一目了然，比老式的模拟示波器“数格子”测量，无论是准确程度，还是工作效率，都有巨大的进步。PDS7102T机内提供有4个波形的存储功能，用作比对参考。PDS7102T额外提供有FFT傅立叶分析功能，这对某些用户特别有用，可以借以了解信号频域方面的信息。



PDS7102T显示100MHz正弦信号



PDS7102示波器显示100MHz AM调制信号

PDS7102T取消了串口，背部有个USB接口，看上去与电脑提供插U盘的标准USB接口类似，但它的这个接口不能连接U盘使用，是供电脑连接之用的。这也可能是

PDS7102T的探头

这个USB接口被设计在机器背后而没有出现在机器操作面板上的原因。作为客户端的USB接口应该是像打印机常用的那种方形接口。PDS7102T随机提供有USB数据线和配套的电脑软件光盘，通过软件可以在电脑上捕获示波器中显示的波形和有些相关数据，软件还可以利用电脑的大存储空间来录制示波器显示的活动波形，以供回放。我们安装其随机软件非常顺利，并很容易地加载了USB驱动程序，顺利找到了示波器。我们尝试在电脑上保存了一个波形图像，分辨率为600×400，抓波形图的话，比用照相机拍方便多了。

总的来说，OWON PDS7102T是一款性能不错的入门级示波器，大屏幕显示、薄机身、高性价比是它最大的特点，其测量性能属于目前国产主流经济型示波器的主流水平，用来观察普通信号的波形、频率、电平等，是不错的仪器。由于没有深存储功能和高刷新率，所以在信号分析方面并不是这款机器的强项，这与泰克等万元级低端示波器的情况类似。价格方面，这款100MHz的液晶数字示波器在同类产品中属于中等偏下的价位，具有相当的性价比，适合个人开发、学校教学和创业中的小公司使用。对于初级波形显示、简单单片机开发、电源性能测试都是比较实用的。

关于售后服务，按照利利普科技有限公司在主页上的公告，主机享有3年保修期。三年质保对用户而言，是比较让人放心的。我们在网上看到一些网购商家标称提供2年保修，用户在购买前最好确认一下。

客观地说，作为入门级低价位的示波器，不可能处处完美，各厂家品牌的产品也各有长处和短处，国产仪器要在有限的成本中提供最大化的性能，又要权衡稳定性，所以不可能尽善尽美，这与已经成名的进口产品优质高价的理念不同。试想一下，要是两千多元的示波器十全十美了，那么七八千甚至上万元的产品该是什么样子？在仪器行业，也遵循一分价钱一分货的原则，对于用户而言，实用至上。

示波器小知识

示波器带宽 示波器的带宽标志着示波器对不同频率信号测量的能力，也是大家衡量示波器性能的第一指标。对于一定带宽的示波器，随着测试信号频率的升高，测得信号的幅度相比真实幅度会有所缩小，这种测量的误差并非线性。一般，业内将示波器测得正弦波幅度不低于真实正弦波信号3dB幅度时的最高频率作为示波器的带宽标准，实际上很多示波器在带宽指标上都是留有余量的。此外，带宽越高的示波器，提供越小的时基，这样有利于被测波形的展开，有利于对波形的观察和分析。

采样率 采样率是数字示波器独有的一项指标。数字示波器需要对信号进行采样，获得离散的数字数据，才能被计算机进行数字化处理。采样率是采样的频率，也可以理解为采样的间隔时间。原理上，采样时间间隔越短，重建还原出来的波形越接近真实的原始信号，更容易发现信号的畸变和毛刺以及偶发事件。对于示波器，一般认为采样率高于4倍的信号频率更有利对波形尤其是脉冲波的重建还原。

存储深度 存储深度 存储深度是数字示波器独有的一项指标。存储深度是指示波器存储采样数据的空间大小。"存储深度＝采样率 × 采样时间" 如果采样率一定，那么存储深度越大，支持存储采样的时间越长，这有利于记录一些时长较长的信号。实际工作中，深存储还能为高采样率提供必要的保障。示波器的存储深度是固定的（或可被设定），对于存储深度较小的示波器，遇到采样时间较长的信号必然需要降低采样率，以适应存储空间，如果有较大的存储空间就能维持较高的采样率，这在信号的重建理论上有一定的好处。

信号处理 数字示波器将被测信号取样数字化后，经过计算机处理，最后重建波形。在处理过程和波形重建中，各厂家的示波器在软件算法上都有自己的独到之处，使得类似的硬件线路得到不同品质的最终波形显示，通过软件还能提供各种设置选项和扩展功能。这也是不同品牌数字示波器的精髓。硬件比较容易复制，但软件和算法并不容易完全掌握。

如果大家注意一下就会发现：现在好多居民小区的普通电能表已被换成智能电表，功能有预付费的，有峰谷分时计价的，有远程监控和管理功能的。本文想通过对一只电子式电能表的DIY，增加其功能，使大家了解一些智能电表的基本工作原理，学会有关电路的制作和程序设计，同时还能得到几个比较有趣、比较实用的制作作品。文中出现的电路都经过笔者实际制作，程序都在电路板上调试通过。来吧，跟着我一起做！学习和制作过程中有什么问题和好的建议，欢迎和我进行交流，我的电子邮箱：ntwhq@tom.com。

玩转电能表 体验智能化 1

◎吴汉清

走近电能表

本文介绍对一只普通电子式电能表的改造方法，把机械计数器改为电子数码计数器，这也是为以后的几个制作打下基础。通过这一讲，你同时可以了解电能表的发展概况，电子式电能表的基本工作原理。

电能表的发展历程

电能表自诞生至今已有100多年的历史。因为1kWh的电能量被定义为1度电，所以按计量单位，电能表又俗称电度表。电能表的发展分感应式电能表和电子式电能表两个阶段。

第一台感应式电能表是1889年由德国人布拉热提出，由匈牙利的甘茨电度表公司首先按布拉热的专利进行制造，其重量高达36.5公斤，这是感应式电能表的雏形，经过一百多年的不断改进和完善，才逐步形成今天这样的成熟产品。

感应式电度表是利用电压线圈和电流线圈在铝盘上产生的涡流与交变磁通相互作用产生磁力矩，推动铝制圆盘转动，同时引入制动力矩，使铝盘转速与负载功率成正比，铝盘的轴（蜗杆）带动齿轮驱动计数器的鼓轮转动，由计数器计算出转盘转数而测定出电能，其外形见图1。

随着电子技术的发展，人们开始在电能表中使用电子电路实现一些功能。早期的电子式电能表仍采用感应式电能表的测量机构，由光电传感器完成电能—脉冲转换，然后由电子电路对脉冲进行计数处理，从而实现对电能的测量。由于这种表是感应式测量机构配以脉冲发生装置，因此被称为感应式脉冲电能表，也称机电脉冲式电能表。这种表是感应式电能表向电子式电能表发展过程中的过渡产品。

为了替代电磁感应式测量机构，从20世纪70年代起，人们开始研究并试验采用电子电路的方案。其电子电路的共同特点是使用乘法器实现电功率的测量。目前常见的各类电子式电能表的测量机构均采用这种电路模式，按所使用的乘法器是模拟的还是数字的分为模拟乘法器型电子式电能表和数字乘法器型电子式电能表。图2就是一种常见的采用乘法器的电子式电能表。本文就是用这种电能表进行DIY。

近年来，微电子技术和计算机技术的高速发展，使电子式电能表的技术也迅速进步，逐步使电能管理实现自动化与智能化。新型的电子式电能表能对用户的用电参数进行分析计算，然后实施控制处理，通常把具有这些功能的电子式电能表称为智能电表。

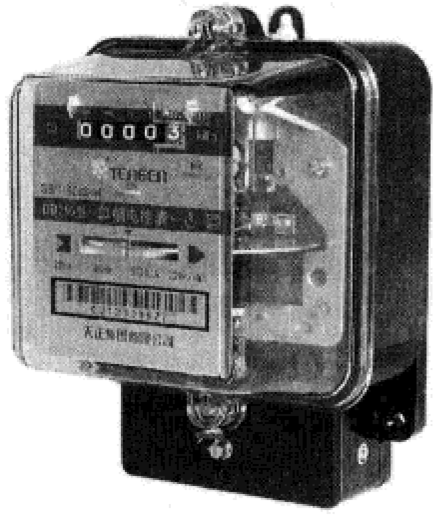


图1 感应式电能表

图2 采用乘法器的电子式电能表

图3 IC卡预付费智能电表

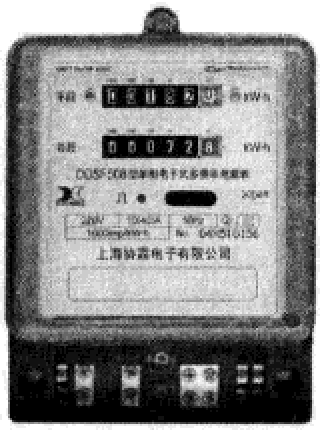


图4 多费率电能表

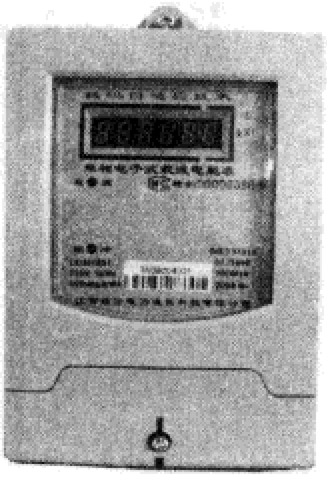


图5 远程抄表电能表

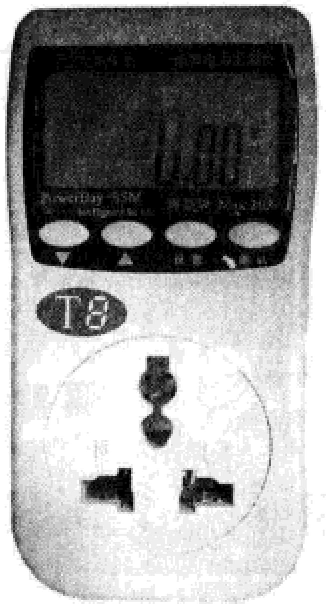


图6 智能插座

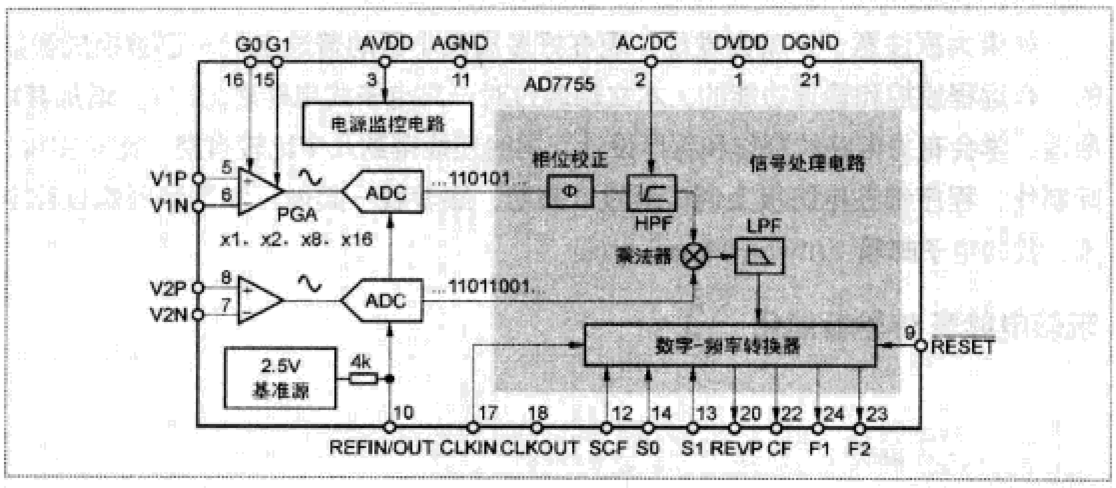


图7 AD7755内部框图

常见的智能电表有IC卡预付费电能表（图3）、多费率电能表（图4）、具有远程抄表和控制功能的电能表（图5）等。最近在网上看到厦门部分居民小区安装了一种具备智能用电功能的智能电表，将来如果实现信息采集系统与智能电网的互动，市民出门在外时，可通过智能电表远程控制家用电器；当某月用电量过多时，智能电表可为用户做出最优化的用电方案，节约用电。

市场上还有一种智能插座（图6），把智能电表的有些功能应用到插座上去了，并在某些方面有所扩展，插座上的LCD可以显示当前的用电量、功率、电压、电流、累计时间、频率、CO_2排放量等。

电子式电能表的工作原理

电子式电能表的工作原理为：由分压器完成电压取样，由取样电阻完成电流取样，取样后的电压、电流信号由乘法器转换为功率信号，经V/F变换后，输出的脉冲信号推动计数器工作，如果是智能电表，则将脉冲信号输入单片机系统进行处理。

要完成上述功能，就要采用专用的电功率测量芯片，其中最常用的AD7755就是一种高精度的电功率测量芯片，其内部的乘法器是数字型乘法器。

AD7755的功能框图见图7，引脚见图8。它输出的脉冲信号可以直接驱动计数器的步进电机。AD7755的性能测试电路见图9。其中V1P、V1N为电流传感器的模拟输入端，V2P、V2N为电压传感器的模拟输入端。按图中SCF、S1、S0的接法，CF的输出频率是F1和F2的16倍。

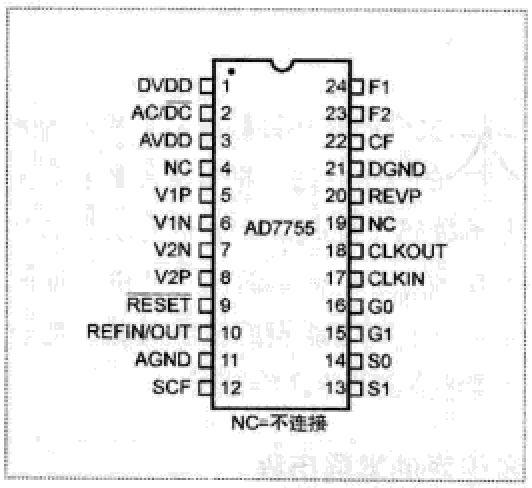


图8 AD7755引脚排列

AD7755 的信号处理框图见图 10。两个 ADC 分别对来自 CH1（交流电流取样）和 CH2（交流电压取样）的电压信号进行数字化，这两个 ADC 都是 16 位的数模转换器。电流通道内的高通滤波器（HPF）滤掉电流信号中的直流分量，从而消除了由于电流或电压失调所造成的有功功率计算上的误差。瞬时功率由电压信号和电流信号直接相乘得到，通过低通滤波器（LPF）得到有功功率。再经电压－频率转换，引脚 F1 和 F2 以较低频率形式输出有功功率

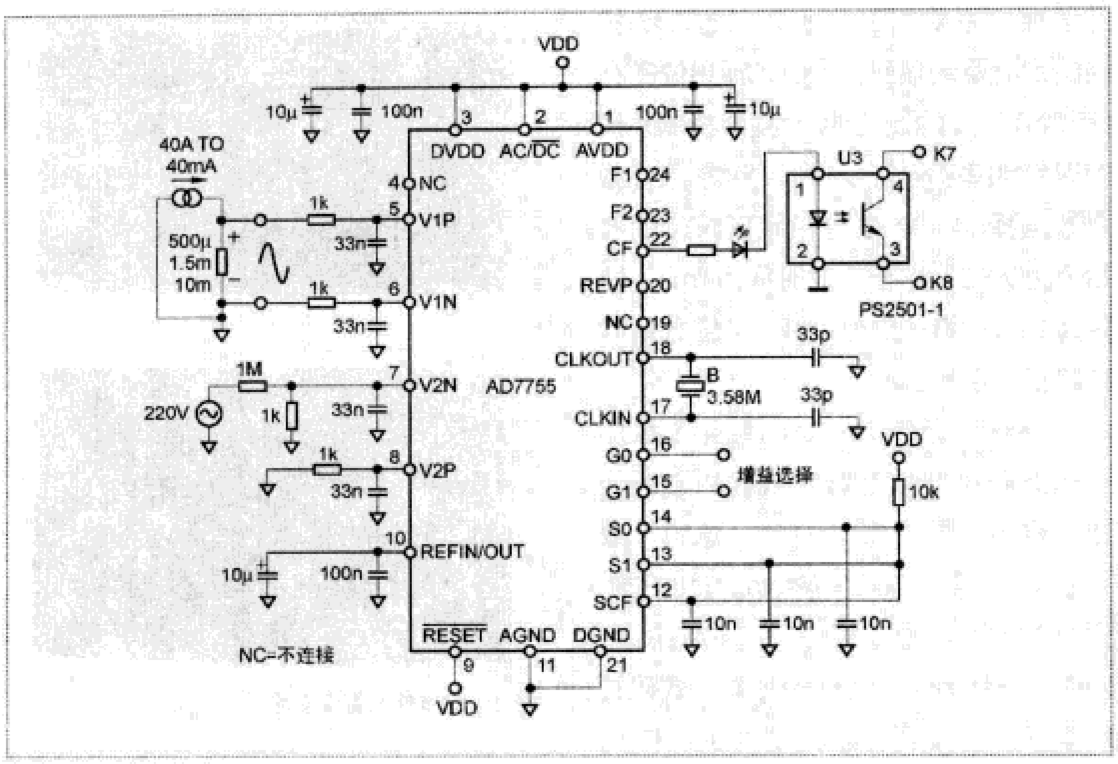


图9 AD7755性能测试电路

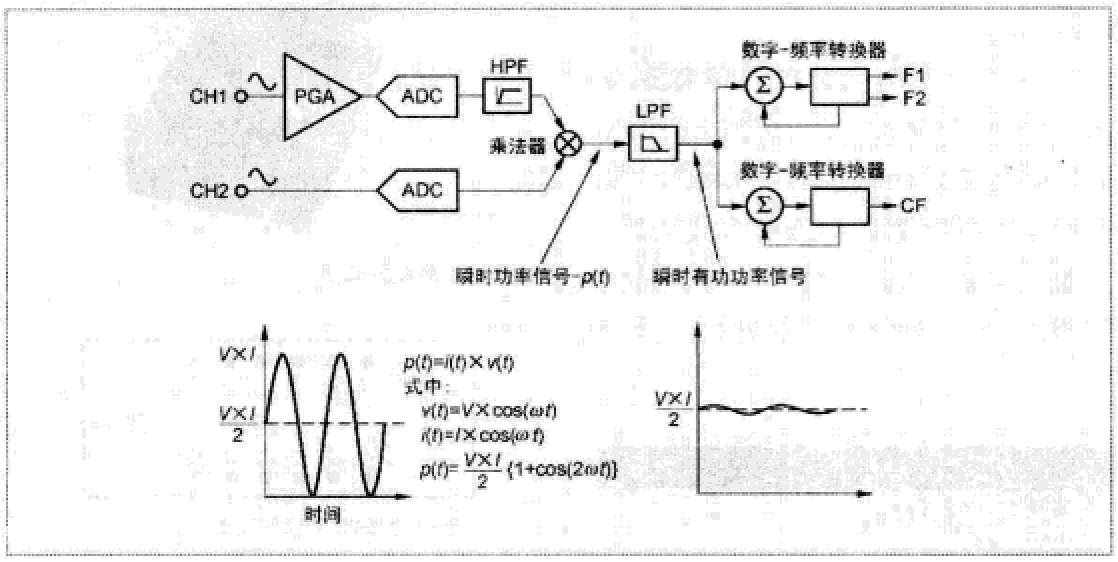


图10 AD7755信号处理框图

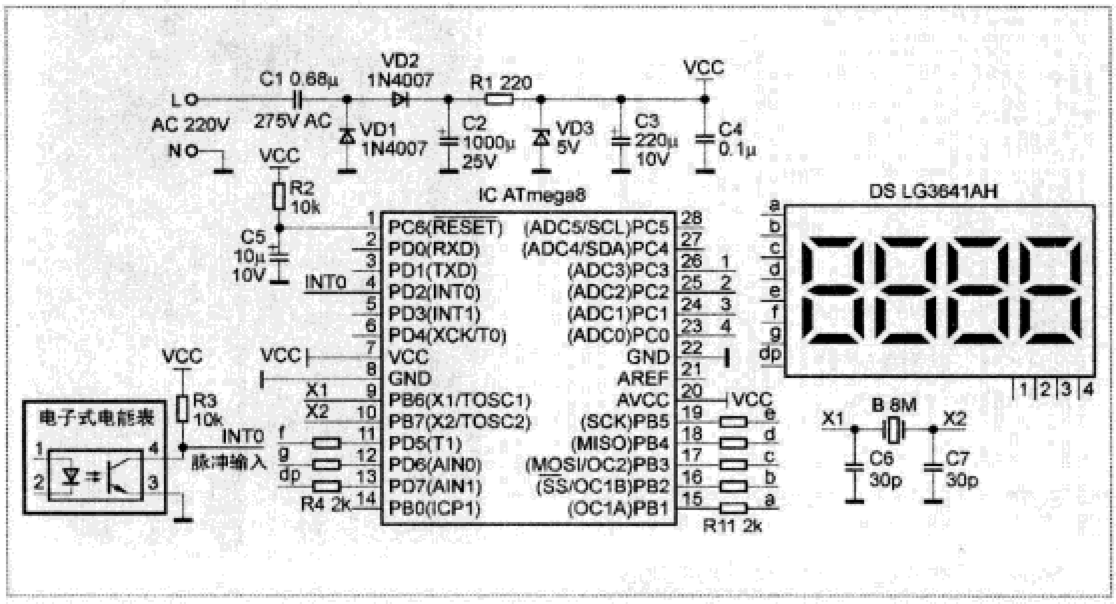


图11 电子数码计数器电原理图

平均值，此脉冲推动计数器计数。引脚CF 以较高频率形式输出有功功率瞬时值，用于仪表校验，由于其输出频率较高，便于进行处理，因此本文利用 CF 输出的脉冲信号作为测量信号。

硬件电路

把电子电能表机械计数器改为电子数码计数器的电路见图11，我所使用的电子电能表用的电路芯片是CES7755，只有16只引脚，它是AD7755的简化版本，用在这里的功能和AD7755一样。计数脉冲的输出端没有直接用CF，而是选了受CF控制的用于测试的光电耦合器的输出端。

电路中的单片机选用AVR单片机ATmega8L，它在这里起到三个作用：1.对INT0输入的脉冲信号根据需要进行处理，2.采用动态扫描的方式驱动数码管显示用电量，3.用ATmega8L内部的EEPROM存储用电量，保证掉电后数据不丢失。

因为后面几个制作对单片机时钟频率精度要求比较高，所以电路中选择使用外部晶体振荡器的工作模式，时钟频率选8MHz。单片机采用外部复位电路。

数码管的驱动电阻R4~R11取值比较大是为减小电路的功耗，经试验数码管亮度也能满足要求。

C1~C4、VD1~VD3、R1等组成电容降压式5V稳压电源，通过电容C1的电流约46mA，由于采用了半波整流电路（VD2整流，VD1为C1提供反向充放电通路），因此电源能提供的最大工作电流为23mA。电路的功耗约0.24W。注意采用电容降压，电容本身是不消耗功率的，有些人用通过电容的电流乘以220V交流电压计算功率是错误的。原电能表电路模块也采用电容降压式5V稳压电源，经用功率表测量两个电路的功耗总计为0.79W，远小于感应式电能表的功耗。

程序设计

对电子式电能表电路芯片CF端输出的脉冲进行计数即可对用电量进行计量，电能表每用1kWh电能所输出的脉冲数称为电能表常数，在表面上有标注，比如我选用的220V 2.5（10）A的电能表对应的参数为6400imp/kWh（电表的容量越大，这个参数就越小，比如220V 5（20）A的电能表对应的参数为3200imp/kWh），即每用1kWh电量CF端输出6400个脉冲，如单片机计满640个脉冲就表明用了0.1kWh的电量，本文把0.1kWh作为计量单位，数码管只显示整数部分，存储的数据精确到小数点后1位。

程序由主程序、显示子程序、定时器/计数器0中断服务子程序、外部中断0服务子程序等部分组成。程序使用C语言编写，采用ICC AVR编译。

主程序主要用来上电时读取EEPROM存储的用电量，对端口、定时器/计数器0等进行初始化。

定时器/计数器0（T/C0）中断服务子程序主要用来产生数码管动态扫描的定时驱动信号。T/C0使用8位寄存器TCNT0，这里通过预分频器将单片机的时钟频率分频后得到时钟源，分频系数选择64，计数寄存器TCNT0的初始值为0x83，这样定时时间为1ms，即每过1ms扫描一位数码管，4位数码管的刷新周期为4ms。

外部中断0（INT0）服务子程序对电能表输出的电量计数脉冲进行处理，程序主要变量有两个：脉冲计数变量imp和总用电量变量total，total的单位为0.1kWh，计数范围为1~99999，对应用电量为0.1~9999.9 kWh，数码管取整显示。中断由输入脉冲的下降沿触发，每中断一次imp加1，当imp计满640时total加1，同时imp清零重新开始计数。

为了防止断电造成电量数据丢失，使用ATmega8L自带的EEPROM对用电量进行存储，通常采用的方式是断电时将电量写入EEPROM方式。为简化电路，提高可靠性，本文采用每用0.1kWh存储一次的方式。读者

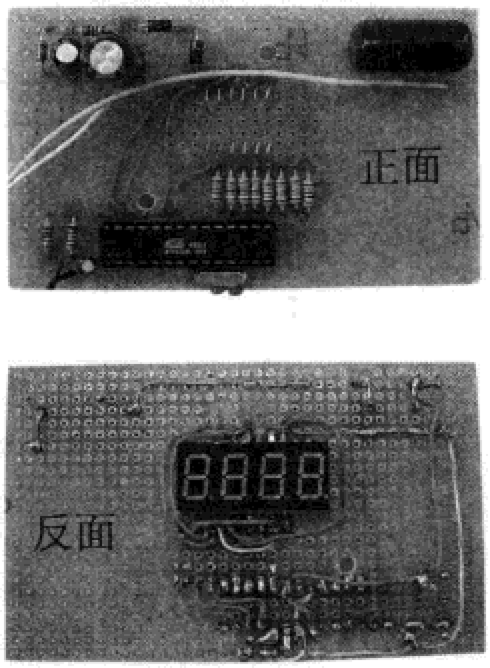


图12 元器件的安装位置

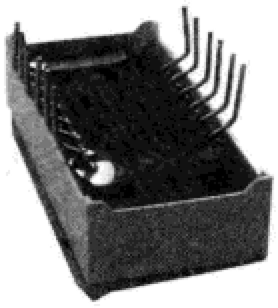


图13 引脚向外弯折

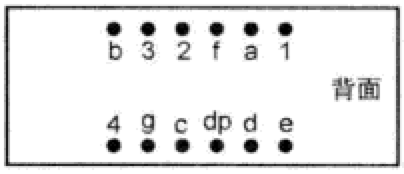


图14 数码管的引脚排列

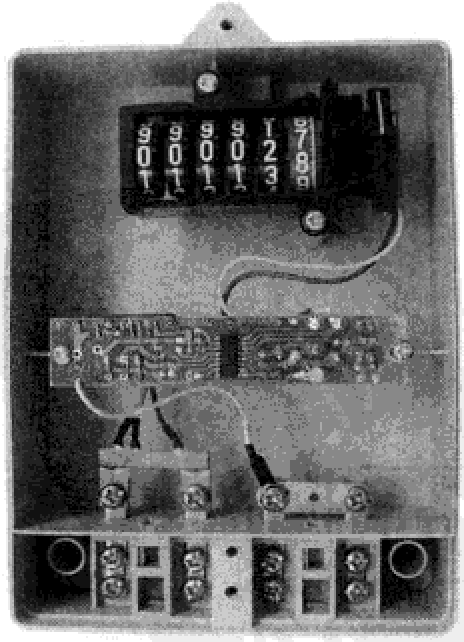


图15 原电能表的内部结构

表1

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	电阻器	R1	金属膜 1/4W 220Ω	1
2		R4~R11	金属膜 1/4W 2kΩ	8
3		R2、R3	金属膜 1/4W 10kΩ	2
4	电容器	C6、C7	瓷片 30pF	2
5		C4	瓷片 0.1μF	1
6		C1	安规电容0.68μF/275V AC 或 CBB 0.68μF/630V	1
7	电解电容器	C2	1000μF/25V	1
8		C3	220μF/10V	1
9		C5	10μF/10V	1
10	二极管	VD1、VD2	1N4007	2
11		VD3	5V稳压二极管	1
12	石英晶体	B	8MHz	1
13	单片机	IC	ATmega8L	1
14	集成电路插座		DIP28	1
15	4位数码管	DS	LG3641AH （共阴数码管）	1
16	电路板		万用板100mm×62mm	1

表2

熔丝	CKSEL3	CKSEL2	CKSEL1	CKSEL0	SUT0	SUT1	BODEN	BODLEV
设置	1	1	1	1	1	1	1	1
熔丝	BOOTRST	BOOTSZ0	BOOTSZ1	EESAVE	CKOPT	SPIEN	WDTON	RSTDISBL
设置	1	0	0	1	1	0	1	1

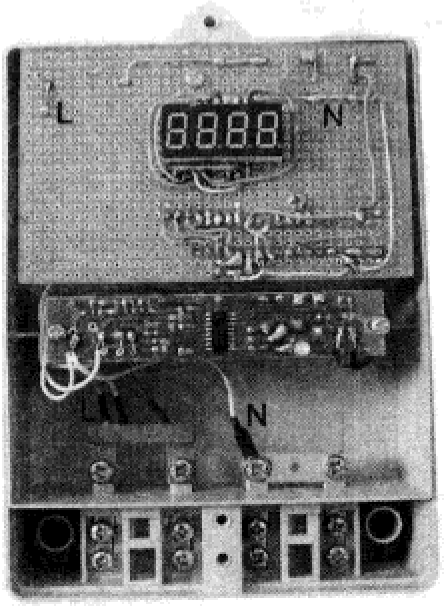


图16 改装好的电能表的内部

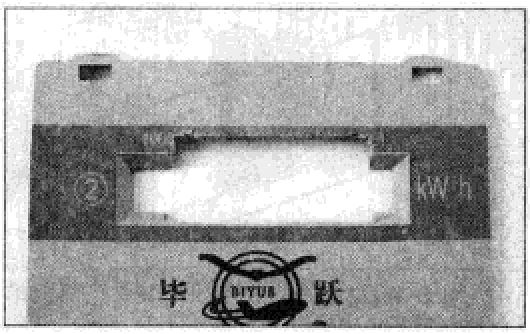


图17 开好孔的面板

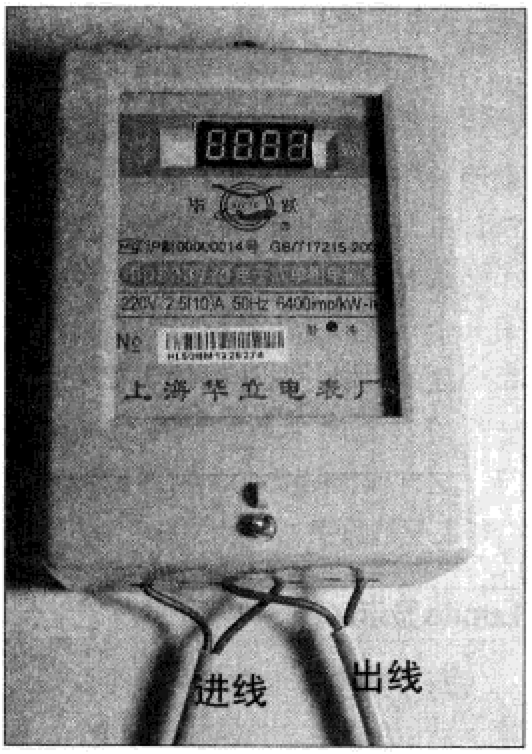


图18 使用中的新电能表

也可以使用前一种工作模式，但电路中要增加断电检测电路，相应的程序中要增加断电处理程序，在断电时依靠滤波电容上的电能把电量数据写入EEPROM。

电路制作

1. 元器件选择

本文选用如前面图2所示电能表进行DIY，其市场售价为13~15元。

新加电路板所用的元器件清单见表1。

装配前先将目标文件写入ATmega8L，写入时有关熔丝位的配置见表2。

2. 装配

电路使用万用板装配，元器件的安装位置见图12，安装时不要随意改变元器件的位置，空的地方在以后几个实验中要安装其他元器件。数码管装在电路板反面，因原来引脚对应位置的焊接点被数码管盖住了，所以其引脚要向外折弯，如图13所示，这样接在数码管外围的焊点上，才方便焊接。数码管的引脚见图14，连线时要特别小心仔细，如果接错线会产生乱码，查起来比较麻烦。为了避免反面接线太多，可将数码位驱动线接在元器件面，其余连线接在反面。

原电能表的内部见图15，将机械计数器拆除，装上新加的电路板，安装电路板时元器件面朝下，数码管朝上，安装好的内部见图16。

电路板和电能表有4根连接线，先连接两根电源线（火线L和零线N），注意火线和零线不要搞错。然后找到电能表电路的光电耦合器，它是一块4根引脚的集成电路，再按图11中脉冲信号输入线的接法接好两根脉冲信号输入线。

原电能表玻璃下面的塑料面板应根据数码管的外形尺码将其观察窗口尺寸改大，以便让数码管正常显示，把塑料面板四周的卡子拨开就可以取出，重新开好孔的面板见图17。

3. 调试

安装完毕，经仔细检查接线没有问题后可通电进行调试，调试时请特别注意：由于电路板和220V交流电直接相连，因此调试时不要直接用手接触电路板。为安全起见，可先不接电路板的两根220V电源线，用外接5V直流电源进行调试。

将电能表按其接线方式接入交流电源，同时在电能表输出端接入一台灯作负载，用万用表测量INTO输入端的对地的电压，当电能表电路模块上的脉冲发光二极管发光时该电压应瞬间下降，如果电压没有变化说明脉冲输入信号线接反了，应调一下两根线的顺序。

调试好后将电能表外壳装好，接上电源和负载电能表就可以使用了。使用一段时间待数码管读数增加后断一下输入电源再重新接上，看掉电后读数有没有丢失，没有丢失的话电能表的工作就完全正常了。正常使用中的电能表见图18。

最后说一下，由于我们对电能表原计量电路板没有作任何改动，因此改装后的电能表精度不会有改变。

下期预告

下一期将为电能表增加功率测量和功率限制功能，通过测量电能表输出的脉冲信号的周期来测量接在电能表上的电器的功率，在此基础上通过编程增加功率限制功能，当负载功率超过设置的值后即自动切断电源，待恢复正常负载功率后自动恢复供电。

数字电压表的那些事

◎邓宝明 编译

1952年，第一台数字电压表诞生。

尽管HP创立之初是个仪器公司，取得了许多测试测量界的第一，但数字电压表却不是其首创。一直到1958年进入数字电压表市场之前，HP都一直在差分电压表上处于落后地位。而数字电压表的出现差不多宣告了仪器模拟时代的终结和数字时代的到来。

圣地亚哥

也许有些读者想当然地认为旧金山湾区的硅谷是数字电压表的诞生地，事实却并非如此，数字电压表的诞生和发源地是加州南部的圣地亚哥。

二战期间，麻省理工学院工程专业的毕业生Andrew Kay为Bill Jack Scientific Instrument公司制造空中侦察设备。Kay注意到未受过训练的技术人员和工人试图用开尔文电桥（更正式的说法是开尔文—瓦利电桥，19世纪由英国的开尔文勋爵和别人共同发明）获得精确的电压测量。开尔文电桥能获得明显优于传统模拟电压表的精度，但它需要对精密的、校准的电位器进行仔细手动调节以使得模拟表指针调零。这是一个精确、速度慢且容易出错的操作。

此外，一个粗心、笨拙或打瞌睡的操作者在表上意外地施加过大的电流，会打弯指针，也可能烧毁敏感的线圈。

意外烧表在二战期间后果严重，因为它们的价格昂贵而且稀少，曼哈顿计划就险些因为这个原因而不能赶在德国之前制造出原子弹。

Kay是Bill Jack公司的第一位雇员，最终成为工程副总裁。20世纪50年代初，该公司受冷战时期军事合同的冲击，注重生产而不注重开发。Kay对工程和产品开发更感兴趣。他感到无聊，离开了Bill Jack，在加州Del Mar创建了自己的工程公司——Non-Linear Systems。Kay决定开发一个电压表——准确、高分辨率、速度远远快于开尔文电桥，而且不需要专业的操作知识，更加坚固。1952年Kay开发出来第一个这样的仪器，同年，他创建了Non-Linear Systems（NLS）。

第一台数字电压表

他将这个仪器命名为数字读出电压表，后来简称为数字电压表（DVM）。海军电子实验室（现称海军海洋系统中心）于1953年年初购买了第一台。NLS的数字电压表与今天的数字电压表有许多共同属性。世界上第一台数字电压表是一个拥有0.01%分辨率和0.1%读数精度的4位数字仪器（图1）。具有自动极性选择，自动量程选择，999.9V最大量程。当时售价2300美元，而现在一个3位半的万用表在国内最便宜的售价只不过几块钱。

第一台NLS DVM采用昂贵、高速的机械继电器来选择电阻分压器节点。这种方法近似开尔文电桥高精度、校准电位器的离散或数字版本。继电器不是最便宜的切换电阻分压器节点的方法，但继电器具有低阻抗、切换迅速、而且可靠（寿命数百万次）。Kay这么设计以确保第一台数字电压表良好工作。

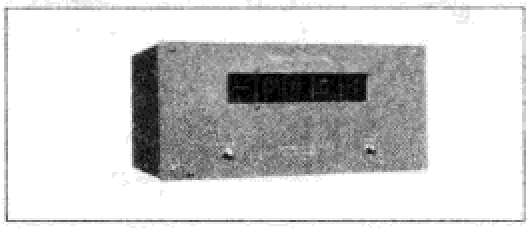


图1 第一台数字电压表

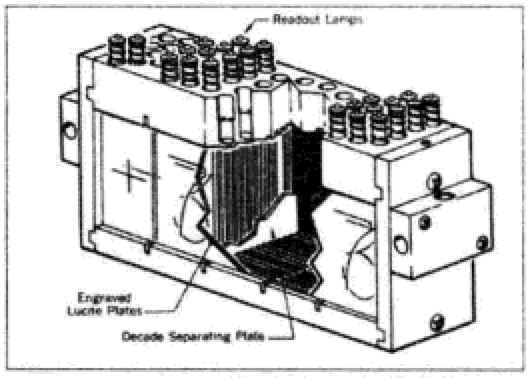


图2 NLS DVM使用的数字显示装置，雕刻的Lucite堆栈和小体积白炽灯泡

第一台NLS DVM也采用了新型的数字显示，基于边沿亮光的堆叠、雕刻的透明树脂盘。每个堆栈（代表1位）由11个盘组成，堆栈盘深深雕刻了一些数字（从0到9），第十一块盘有一个小数点。小体积白炽灯沿位于每个盘的边缘，从边缘照明相关盘。一个灯亮起时会最终照亮盘的刻字符，这样操作者便会从前面板看到一个被点亮的数字。

Lucite显示

每个数字显示堆栈有11个白炽灯泡，所以4位NLS DVM具有44个，再加上“+”号和“-”号对应的2个。因此，灯泡烧毁是一个严重的失效原因，而NLS DVM的设计使灯泡更换容

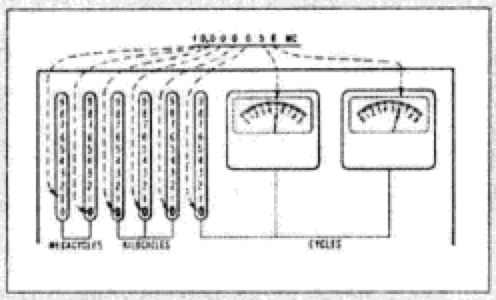


图3 早期的HP频率计使用柱状或“pinball”显示，HP从1951年制造的524A频率计就开始使用这种显示方式，数字和模拟显示设备混合使用，前面的6位是数字，而后面的2位是模拟表，很容易误读，亟需高级的显示技术。每个柱子上的数字都有一个灯泡对应，任何时刻，只有一个灯泡点亮，这样就将对应的数字加亮显示出来。读数的时候，不仅需要上下移动眼睛，还要自左向右读出测量值。

图4 Cubic公司的V-45数字电压表（1960年产品）

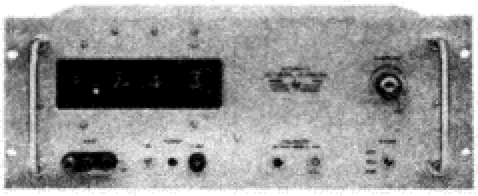


图5 HP公司第一台数字电压表

易（1962年的NLS仪器目录20秒灯泡更换时间的优势）。

NLS形容这种新的显示是“成线，而不是成面”，并与其他早期数字显示（比如HP）的频率计对比。频率计使用了柱状、温度计、或脚球显示。像堆积的数值显示，温度计显示也使用10只白炽灯泡。然而，这些灯泡都位于仪器前面的竖直柱。

NLS的读数仍然是堆栈数字，但对于操作者来说是一个方向读数，而不用向上和向下。NLS数字电压表一直采用此种显示直到20世纪60年代后期，像竞争对手一样转向数码管显示管。

NLS的第一个数字电压表的竞争对手电子仪器公司（EI），由NLS的第一个雇员Jonathan Edwards于1954年成立。 Edwards以名为Walter East的NLS销售代表为基础创立EI。Kay、Edwards和East有很多共同的历史。他们都从麻省理工学院毕业，都在Bill Jack工作过，Kay首先雇佣了Edwards和East。虽然圣地亚哥地区不是硅谷，Edwards和East离开NLS创建自己的公司，表明高科技创业的精神在洛杉矶南部一样强烈，尽管它是在旧金山以南。

EI 基于便宜的电话步进继电器或开关制造了DVM，替代了Kay高价格机械继电器的选择。由于Bell 新的中央自动电话局中成千上万的使用，这些步进开关相对便宜。然而，步进开关比继电器慢，噪声也很大，磨损也比较快。步进开关的使用，让EI在牺牲了测量速度、操作噪声和产品可靠性的前提下制造了便宜得多的DVM。这样的权衡在如今是相当普遍。

EI的DVM让NLS感到了压力，NLS准备也用步进开关生产DVM。然而，为了减少操作噪声和提高可靠性，NLS将步进开关密封在油罐中。润滑使得开关的寿命从1亿次延长到超过4亿次，并且减少了噪声。NLS也用寿命超过10亿次价格昂贵的水银湿簧继电器制造高端DVM。

下一个进入DVM的是Cubic——一家由Walter Zable在1951年创建，制造测量雷达中磁控管的输出功率的热量表的公司。Zable从圣地亚哥一家店面开始创建了Cubic。由于Zable相信任何自强的仪器公司都需要开展DVM业务，Cubic在1957年制造了第一台DVM（图4）。然而，DVM业务并没有给Cubic带来利润，1960年Cubic退出了该业务。如今公司仍然活跃在其他领域，而Zable依然运营公司，但Cubic的网站再也不提40年前进入DVM市场的往事。

再下来进入DVM的是Cohu，在1958年制造了步进开关DVM。Cohu的工程师决定通过简单地以60步进每秒、3倍于20步进每秒的速率超频机电开关以克服步进开关慢的速度。电话公司在标定器件时总是非常保守，不是吗？这是Cohu设计工程师所犯的一部分错误，这使得Cohu的DVM快速损坏。Cohu将开关速率降低到20步进每秒恢复了DVM的可靠性，但是这又丧失了高速、较低价格仪器的竞争优势。Cohu现在座落于圣地亚哥的北部郊区，仍然从事各种电子业务，但再也不制造DVM啦。

HP最终开创了DVM编程

1958年，HP以HP 405AR DVM最终成为第5家进入DVM领域的公司。前面所说的来自不同供应商的DVM都是用19世纪的电桥方法，HP设计工程师Ted Anderson和Noel Pace采用了HP风格的、全电子、20世纪的DVM设计方法。HP 405AR DVM使用精密电压斜率（积分器）、精密的频率时间基准和数字计数器测量电压。

HP频率和时间部门早就利用精密时基制造频率计。由于在频率计数器上的技术积淀，HP制造出了比频率计畅销1000倍，甚至更多的积分DVM和电压表。因此DVM进入不断成长的仪器目录，对于HP来说是再自然不过的事，重点在于控制开发成本的同时追求利润。

今天，我们称呼HP 405AR的斜率电路设计为单斜积分ADC。当时，它只是一个斜率电路。斜率电路的主要原理如下：DVM内部的斜率电压开始于0电压，当计数器开始计数时开始上升。DVM比较内部的斜率电压和输入信号（或者输入信号的衰减版本），当斜率电压超过待测输入电压时停止时基脉冲计数。那一点，计数器保持和待测输入电压成比例的数字显示。HP公司第一台数字电压表见图5。

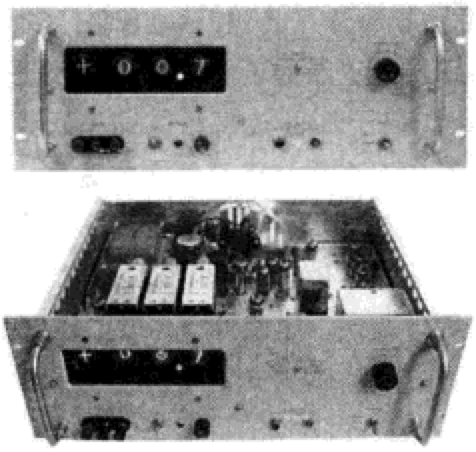


图6 HP 405AR

举个例子，DVM内部以1V/s上升而测量了0.576s，那么计数器可能包含576个值（假设时基每秒产生1000个脉冲）。如果待测电压和最终斜率电压直接比较的话，576个计数可能显示0.576V。如果待测电压在和最终斜率电压比较之前先通过一个电阻分压器衰减10倍的话，相同的计数或许显示5.76V。

为了实现更现代、全电子化的本质，HP 405AR DVM使用一个“时髦”数码管显示，见图6。数码管是冷阴极、霓虹显示，也碰巧是像NLS所使用的璐特板那样的“成线，而不是成平面”显示器件。HP405AR DVM具有用于驱动数据记录的数字输出端口。数字输出在NLS 60年代早期的DVM也已具备，而且NLS还提供广泛的可附件与仪器上的外设。这些外设包括纸带和穿孔、打字机和高速打印机。

HP 405AR第一次具有自动记录重复测试数据的理念。测量范围±1mV~999V，具有自动量程和极性选择，精度±0.2%±1个字，所有量程输入阻抗均为11MΩ。不同的量程具有不同的读数速度，最快每秒4、5次读数，功能设置时间大约1s。显然这些特性是为了进行数字数据记录和自动测试，早在20世纪50年代，HP就开始为减少生产线的测试和校准时间以及消除人为的影响而努力啦。

当然，如果所有的外设都能连接用来记录DVM的测量，电脑也可以。20世纪60年代早期，电脑测试自动化市场刚刚兴起。所有一切需要的是价格合理的可用于测量的专用电脑。最终，HP的工程师认识到这个机会，但不确定。

HP 405AR和他的设计者Noel Pace在1960年HP开设了Loveland部门后转移到Colorado。然而，机架式的HP 405AR在商业上并没有取得预期的成功。HP405AR是具有自动特性和自动量程选择的3位DVM，但这个HP的首台DVM是在NLS生产具有相同特性的4位和5位DVM的5年之后推出的。1959年，就在HP推出3位DVM后的1年，NLS展示了分辨率比HP405AR高1000倍的6位DVM。

HP再次尝试

HP再一次进军DVM是1961年。一个来自密歇根州立大学的刚毕业的电气工程师Chuck Near在加州加入HP，并开始设计HP第一次在商业上取得成功的台式DVM——HP 3440A。他和曾参与HP 405AR设计的Dave Cochran共事。Cochran曾在海军担任电子技术员并在斯坦福获得了EE学位。然而，GI Bill钱花完，在老婆孩子的支持下，Cochran在1956年作为技术员加入HP。他在HP工作期间又在斯坦福完成了学业并成为工程师。在完成HP 3440项目后，Cochran和Near再次设计了第一个可编程的桌面计算器——HP 9100。

由于当时创新风气正浓，大多数设计师认为自己可以开发出比前人更好的产品，但结果往往是浪费了大把时间，却只造出比现有产品好一点的东西，完全不能和设计开发费用相抵。所以 Near 的老板要求他尽可能地挖掘公司的现有技术。也就是当时流行的说法“NIH”或“不在这里搞创新”。

Near发现HP 频率和时间部门开发了一个基于晶体管的十进制计数器和一个完整的数码管显示的电路板。于是他用4块这样的板子构成了HP 3440A计数器。

不同于HP 405AR，HP 3440A DVM采用了双斜ADC，给出了更好的准确度。双斜ADC消除了许多由DVM斜率电路中不完美的电子器件引起的误差源。所有的电子器件都是不完美的，不完美的测量特性称为“误差”，设计者必须创建新的电路以弥补这些误差。作为斜率电路改进的结果，HP 3440A具有4位分辨率，±0.05%±1个字的读数精度，最快每秒5次的读数，所有量程具有10.2 MΩ输入阻抗。成为HP历史上非常成功的产品，事实上，成为HP在20世纪60年代最畅销的产品，当时主机售价1160美元。

然而，像大多数工程项目一样，HP 3440A的开发也不是一帆风顺的。比如，当时所有的HP设备必须通过环境测试，包括产品在高温中可靠运行的能力。HP 3440A可在40℃运行。但是，HP 3440A原型第一次热测试并不成功。在温度升高时出现了数码管变热和电压表过热。这点甚至让平素脾气温和的项目负责经理Don Schulz 发火。然而，搞定很简单。移除内部铝

图7 HP 3440具有数字输出接口，直接促成了仪器电脑和控制器如HP9825的开发。David Cochran（左）和Chuck Near（右）在使用HP 3440，他们接着开发了HP的第一台桌面计算器——HP9100。HP 3440采用数码管显示，前面板具有校正功能。

框的前后金属后，仪器内部空气立即流通。数码管加热的空气上升并沿着上面板到仪器尾部，在那里被冷却。冷却的空气通过内部铝基板和后面板的空隙下降到铝基板。然后在基板下向仪器的前部流通再次被加热。这个简单的设计修改形成了对流冷却回路，仪器内部的温度降低了15℃。问题解决啦。

HP 3440A很快被运到Colorado的Loveland部门，1963年开始组装HP 3440A。生产持续了很多年，直到1968年，超过10000台HP 3440A数字电压表被付运，而且还衍生了一系列的HP 34xx 系列。包括后来的经典3468、3478、3455、3456、3457、3458。尤其是3458，作为一款如此经典的8位半万用表，以至于至今都没有哪一款万用表在线性和积分性能上超过这款1989年推出的8位半万用表。而HP后来的万用表也继承了自动化程度高和速度快的优点，自动测试方面直接导致了HPIB的出现，而速度，到现在也没有哪家的万用表能跟同时期的HP（今Agilent）媲美。

NLS继续作为成功的DVM创新者并且生产了很多年。它开发了多种开尔文电桥称为iso-ohmic 桥，简化了电阻分压器的设计并降低了生产费用。1962年，有位心理学家花了一个夏天观察Andrew Kay的行为和以团队为中心的管理风格，然后基于NLS的经验写下来他的理论“开明管理”。巧合的是，HP的管理方式，被成为“HP之道”，也以“开明”著称。

Kay在1982年组建了NLS的一个部门叫Kaypro，生产非常成功运行CP/M操作系统的便携PC。到了1983年，整个公司被重新命名为Kaypro并上市。那一年，Kaypro是全球的第5大PC制造商。当公司的电脑销售额（超过7000万美元）完全超过DVM（只有350万美元），NLS成为Kaypro的子公司。

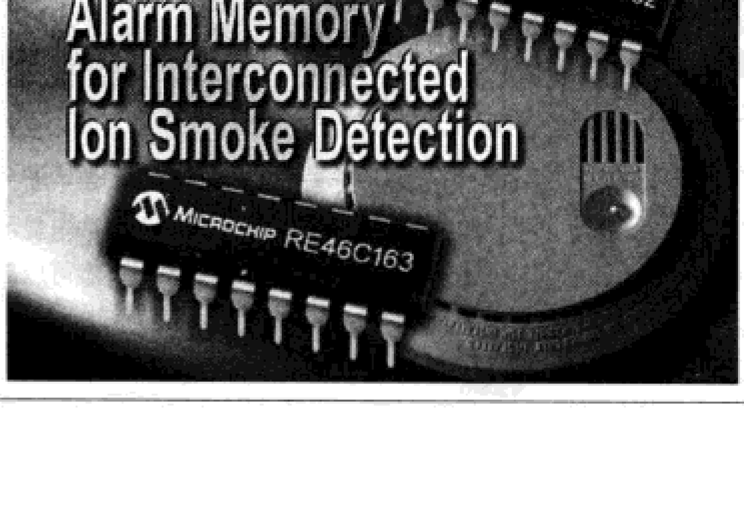
IBM 5150 PC（最初的IBM PC）的推出开始侵蚀到Kaypro在电脑上的成功（IBM在20世纪80年代影响了许多电脑公司包括HP）。Kaypro迅速开发PC机箱，但到了1990年，Kaypro还是申请破产保护。NLS被Linear Measurements公司收购作为一个部门运营。NLS现在还在经营仪器业务，生产数字面板表。

1992年Andrew Kay和他的兄弟Steven在圣地亚哥成立了Kay Computers公司，制造和出售基于PC的电脑。 由于他对电子工业的许多贡献，Andrew Kay在1998年入选了计算机纪念名人堂。Chuck Near最后从HP退休，现居住于圣地亚哥。

Microchip推出具备报警存储器的离子探测IC

Microchip推出业界首款具备报警存储器的离子式（RE46C162/3）和光电式（RE46C165/6/7/8）烟雾探测器IC，它可以方便且迅速地确定相互连接的线路中哪一个探测器触发了报警装置。具有的低功耗性能使烟雾探测器的电池寿命长达10年。传统警报IC被虚假触发时，很难确定哪个烟雾探测器触发了报警装置，而RE46C16X具备报警存储器，可以轻松识别哪一个探测器发生了故障。

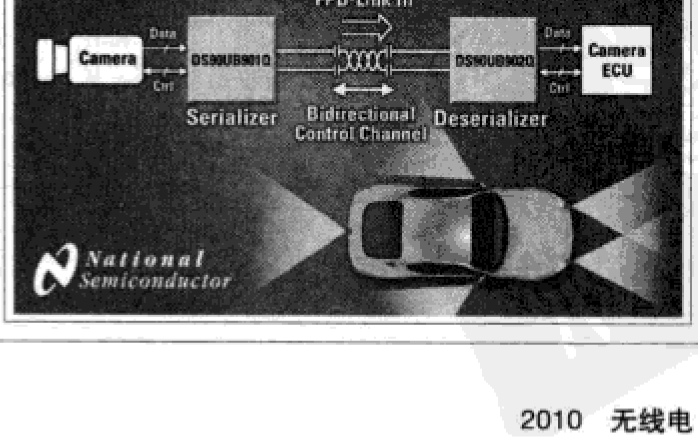
登录Microchip官方网站http://www.microchipdirect.com/可申请免费样片



国半推出全新 FPD-Link III 串行 / 解串器

美国国家半导体公司推出一系列全新 FPD-Link III车用级串行/解串器芯片组，它可为辅助驾驶系统摄像机提供一条实时双向控制通道的串行/解串器。只需一条差分双股线便可连续不断地传送时钟信号、数据及实时的I^2C双向控制信号，确保显示器作出更快的响应，从而保证行车安全。DS90UB901Q串行器与DS90UB902Q解串器是汽车摄像系统专用的接口电路，支持14位的色深。这款芯片组利用循环冗余码校验（CRC）功能核实及监控数据的完整性，因此无需特别为摄像模组添加一条控制通道。

登录国半官方网站http://www.microsemi.com/可申请免费样片



玩转电能表 体验智能化 2

◎吴汉清

手工打造智能功率表、限电器

上次我们介绍了把电能表改成用数码管显示用电量，在此基础上对电路和程序略作修改，就可使它具有功率表和限电器的功能。

功率表

通过上一篇文章的介绍我们知道：电能表电路芯片AD7755的CF端输出的脉冲信号周期跟用电功率有关，用电功率越大，周期越小，因此通过测量此输出脉冲的周期即可知道所接负载的功率，根据这一原理我们可以给电能表增加功率测量的功能。

硬件电路

电路见图1。因为数码管既要显示电量又要用它显示功率，所以在前面的电路上增加R12和发光二极管VD4，用作显示功率时的指示，当VD4点亮时数码管显示的是功率，反之显示的是电量。

程序设计

程序只在第一篇文章程序的基础上作了两处修改：一是增加了功率的计算，二是增加了功率显示。

在 INTO 外部中断处理子程序中增加一条语句“P=5625000/time;”用来作功率计算，其中变量P是功率，单位是0.1W（数码管只显示P的整数部分）。变量time是AD7755CF端输出的脉冲信号周期，单位是毫秒（ms）。下面说一下这个公式的推导过程，以便读者换用其他规格的电能表时自己修改程序。

笔者使用的电能表的电能表常数为6400imp/kW·h，用电功率为1W时CF每小时输出的脉冲数为6.4个，其周期为3600/6.4＝562.5（s）＝562500（ms），因为负载功率跟CF输出的脉冲信号周期成反比，所以当脉冲周期为time时测量功率为562500/time（W），因为P的单位为0.1W，所以*P*=（562500/time）×10=5625000/time。如果使用的电能表的电能表常数为3200imp/kW·h，不难算出*P*=11250000/time。

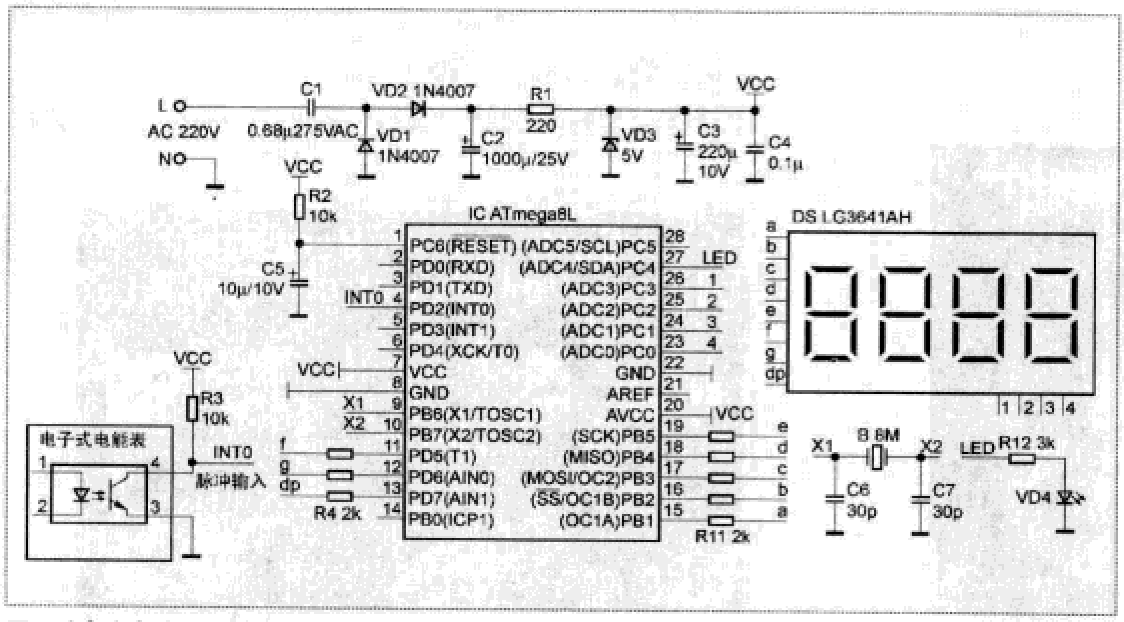


图1 功率表电路原理图

跟显示有关的定时器T0中断服务子程序改动如下：

```
voidtimer0_ovf_isr(void)
{
TCNT0=0x83;
n++;
time++;
if(time>562500)//长时间空载时P清0
{
P=0;
time--;
}
if(n<2000)//前两秒显示电量
{
    y=total;
    LED_OFF;//发光二极管VD4熄灭
}
else//后两秒显示功率
{
    y=P;
    LED_ON;//发光二极管VD4点亮
}
if(n==4000)n=0;
DS_show();//调用显示函数
}
```

其中变量n作时间计数器，每中断一次加1ms，每计满2000个数电量和功率显示交替一次，如果只想显示功率，读者可以自己修改程序。

制作与使用

在原电路基础上增加的元器件见表 1。

安装前先将目标文件zndb2_1.hex写入ATmega8L。

功率指示发光二极管VD4安装在数码管的右侧，见图2。

由于功率表只显示测量功率的整数部分，因此能测量的最小功率为1W，功率较小时测量时间较长，如功率为10W时要过6秒后才能读到稳定的测量结果，功率越大所需的测量时间越短，由于这里用的电能表的最大工作电流为10A，因此理论上能测量的最大功率为2200W。

表1

序号	元器件名称	位号	型号规格	数量
1	电阻器	R12	1/4W3kΩ	1
2	发光二极管	VD4	Φ3红色	1

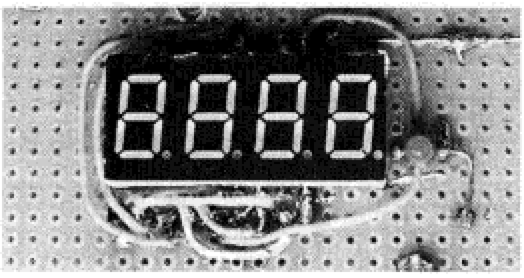


图2 功率指示

图3 安装好的功率表

使用时要注意：接上负载后待CF端控制的脉冲发光二极管闪烁两次后得到的才是稳定的测量读数。图3所示的是46英寸液晶电视机用电功率的测量结果。

电能表空载后将保持最后一次测量结果数分钟后才自动清零，在此之前重新接上负载则会很快刷新测量结果。

限电器

为了防止学校等单位的集体宿舍住宿人员自行使用大功率电器，消除安全隐患，避免浪费电能，市场上出现了名为限电器的产品。常用的限电器有两种类型：一种是限制总的用电功率，用电超负荷则自动断电，直至负载小于额定使用功率时才能恢复供电；另一种是智能限电器，根据负载的类型进行限电。对允许使用的如日光灯、风扇、电脑、电视机等电器不予限制，但对达到一定功率以上的电炉、热得快、电暖器、电吹风等电器进行限制。其工作原理是根据负载类型进行判别，日光灯、风扇、电脑、电视机是电感性负载或电容性负载，而电炉、热得快、电暖器、电吹风等电器是纯电阻性负载，当限电器发现纯电阻性负载功率大于设定值时即自动断电。

对于上面第二种限电器，市场上已经出现了破解的专用插座，插座里装了一些电子元器件，使接上去的纯电阻负载用电器改变负载特性，从而逃避断电。所以笔者认为还是第一种类型的限电器可靠性高，不存在破解的可能。下面介绍的在电能表上增加的限电器功能就属于这种类型，它和上述限电器相比还有以下两个优点：1.具有电能表、功率表、限电器三种功能；2.能对用电总功率进行监控，当你发现负载功率接近限定功率时，可停用部分电器，避免超负荷被断电。

硬件电路

电路见图4。在上面功率表电路的基础上又增加了由R13、VT、K等组成的继电器控制电路，因为继电器吸合时会使电路工作电流增加，所以C1也增加了电容量，使最大工作电流增加到34mA。

正常情况下ATmega8L的PC5端输出高电平，继电器K吸合，常开触点闭合，对负载正常供电。当用电功率超过设定值后，PC5端输出低电平，继电器K释放，常开触点开启，负载被断电。断电5分钟后重新检测，如果负载正常则可恢复供电。

程序设计

程序在功率表的基础上修改而成，只改动了定时器T0中断服务子程

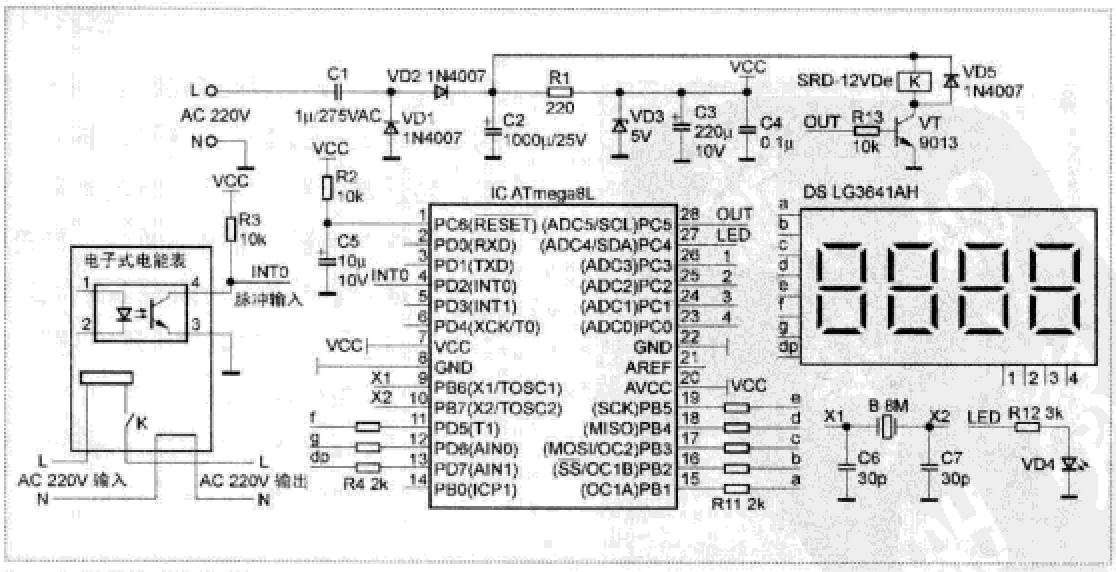


图4 限电器电路原理图

```
voidtimer0_ovf_isr(void)
{
……
if(n==4000)
{
n=0;
m++;
if(m==1)
{
    if(P>8000)OUT_OFF;//负载功率大于800W，断电
else
    {
    OUT_ON;//负载功率小于800W，正常供电
    m--;
    }
}
if(m==75)m=0;//断电5分钟后恢复检测
}
……
}
```

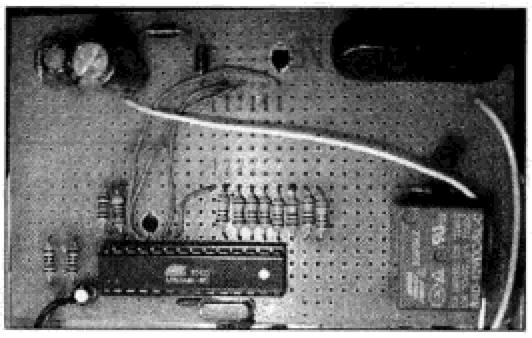


图5 装配好的电路板

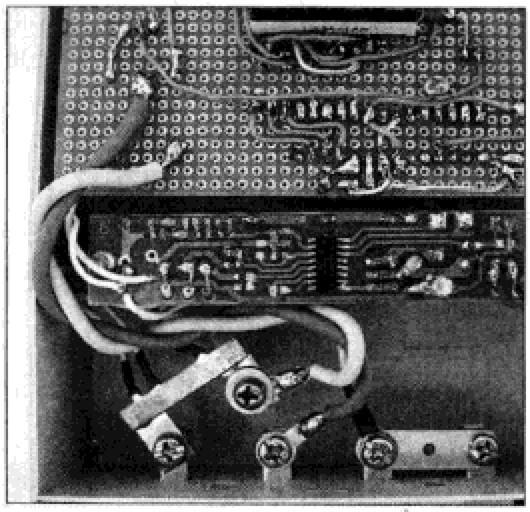


图6 焊接好的继电器连线

表2 改动的元器件参数

序号	元器件名称	位号	型号规格	数量
1	电容器	C1	安规电容1μF/275VAC 或CBB1μF/630V	1
2	电阻器	R13	1/4W10kΩ	1
3	二极管	VD5	1N4007	1
4	三极管	VT	9013	1
5	继电器	K	SRD-12VDC10A220VAC	1

序，改动后的程序如下（和上面程序相同部分作了省略）：

程序中变量m作检测计时用，每4s检测一次负载功率，这里设定的最大负载功率是800W，当负载功率大于800W时自动断电，5分钟后重新检测，如果负载正常了则恢复供电，反之将继续断电。读者仔细研读一下增加的这几行程序，会发现算法非常巧妙，很有趣。你可以根据自己需要限定的功率重新修改程序。

制作与使用

在功率表电路的基础上增加和改动的元器件见表2。

其中C1除了换用1μF的电容外，也可以在原有的电容上再并联一只0.33μF的电容，继电器如选用同规格其他型号的，尽量选择线圈内阻较大的，内阻最好大于400Ω，这样可降低整机工作电流，不然C1就要换更大的容量。

安装前先将目标文件zndb2_2.hex写入ATmega8L。

装配好的电路板见图5，安装时要把继电器常开触点串联在电能表火线的输出回路中，方法是拆开电流分流器的右端，分开的两端各固定一焊片，然后将继电器常开触点的两根连线焊接上去，接法如图6所示。连线使用双绞线模式，以减小通过的交流电流对电路的电磁干扰。

将安装好的电能表接上电源，先接一个小功率的用电器（如台灯），看看能否正常供电，正常后再接上一个功率大于800W的用电器（如电饭锅、电水壶等），如果能够自动断电，再减小负荷，若5分钟后能恢复供电，说明电路可以正常工作。

精彩内容　下回分解

下期为电能表配套增加一个红外遥控器，通过它用加密的方式对电能表的用电量进行预置，达到和IC卡相类似的作用，增加此功能后可实现预付费用电。当预置电量即将用完时电能表会提前报警，提示使用者及时续费，否则在用完预置的电量后会自动断电，缴费后重新预置才能恢复供电。使用时电能表显示的是剩余电量。主要有下面几部分组成：

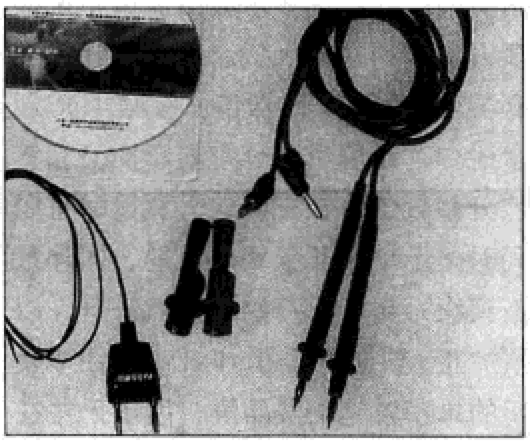
1. 预付费功能的实现方法；
2. 主机程序设计；
3. 红外遥控器电路、原理介绍；
4. 红外遥控器程序设计。

Faith 368 万用表试用报告

◎《无线电》测试员

Faith（费思）368 是一款定位于高端手持万用表的产品。熟悉仪器仪表的朋友一定知道，目前高端测试仪器市场基本都是洋品牌的天下，那么 Faith 这款万用表有何实力进入这一市场，一款零售价在 2000 元以上的国产表究竟有何过人之处，下面我们就来一探究竟。

说起手持式数字万用表市场的国货品牌，大家可能对优利德、华谊、胜利这些品牌耳熟能详，也是在各大电子市场和各种常规应用中最常见到的，Faith对于很多人来说都比较陌生。而Faith品牌在电子负载市场上已有一定的名气，有些电子负载产品可以与日本货一较高下。近年来，Faith进军手持式数字万用表领域，并将切入点定位为中高端产品，Faith 368就是其旗舰级产品。由于主攻中高端，所以在几十元一块的低端万用表市场中看不到Faith品牌。你或许在有些工程师手里会看到蓝色外框的高级万用表，那有可能就是Faith的产品。正如FLUKE采用黄色，优利德采用深红色，华谊采用绿色，Faith将蓝色作为自己产品的主旋律色调。



Faith 368万用表附件

包装与附件

我们拿到的 Faith 368 样品从纸盒包装到万用表本身都体现出了蓝色的主旋律。Faith 368 采用环保的纸板盒包装，不含泡沫塑料，其随包装还提供了表笔、鳄鱼夹、K 型热电偶、USB 连接线、软件光盘、用户手册等，附件比较全，用户基本不必再花钱买附件。相比国外顶级产品，Faith 368 在软件方面表现得非常大方，随机提供，不再需要另外花钱购买，而且 Faith 368 的大部分高级功能就是通过 PC 软件来实现的。

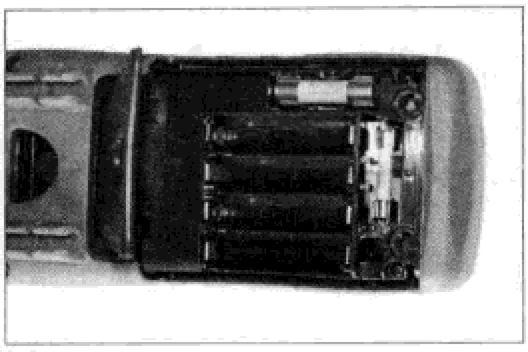
Faith 368提供了K型热电偶，插在万用表上就能把万用表变成一台接触式温度测量仪。K型热电偶做工很不错，与FLUKE 17B原配的温度探头有一拼。Faith 368随机的表棒品质也算得上乘，线体比较柔软，外径为3.5mm，在零下10℃的环境中,线体也不会变得很僵硬。表笔头为灯笼头，可以方便地插入配套的鳄鱼夹内。鳄鱼夹虽然为铁质的，可以被吸铁石吸引，但品质还不错，新的时候咬合比较紧密。Faith 368原配表笔的连接器比较少见，可以方便地并联另一副表笔或者鳄鱼夹测试线。

外观与设计

Faith 368总体外观设计采用了高端万用表的经典外形，这在FLUKE 187/189上早就获得诸多好评。Faith 368属于大表身设计，尺寸约205mm × 95mm × 50mm，液晶显示屏的尺寸也比较大，大约为66mm × 40mm，展开表身上的支架，可将万用表放在桌面上当准台式表用。

Faith 368外框采用硬质橡胶材料包裹，这样既增强了对表体抗冲击能力，又增加了外表与桌面的摩擦力配合。该表约500g的自重，在实际使用时不容易被表笔线意外拖动。Faith的万用表按照工业级要求设计，具有国军标GJB品质，这对产品的生产和制造提出了很高的标准。Faith 368为自动量程的万用表，没有独立的电源按键开关，通过功能选择转盘开关选择不同的测量功能就会自动开启万用表，其功能选择转盘手感还算不错，挡位分明，旋转流畅。Faith 368启动比较快，启动时只需要一二秒的时间，屏幕上会显示“Ft 368”的标识，然后选择好测量项目，手拿到表笔就能用了。Faith 368使用4颗AA碱性电池，续航时间指标上有最大200小时，有电池低压显示告警功能。试用时，我们使用了4颗镍氢充电电池，万用表一样工作。Faith 368有良好的电源管理性能，在电池

万用表外观



Faith 368的电池仓和保险丝座

Faith 368顶部的USB接口

电量不足时会自动禁用一些费电的功能，如记录、背光功能，以尽量延续基本功能的使用。

Faith 368通过打开机身后部电池仓盖更换电池和保险丝。更换时需要用一把一字螺丝刀旋开电池仓盖上的塑料卡件。需要注意的是，塑料卡件很容易掉出来，操作时千万当心，换完电池后一定要锁紧，塑料卡件由于不是标准件，虽然价值很低，但掉了以后很难配到。采用同样设计的国外万用表的这两颗螺丝的遗失率是很高的。Faith 368采用的保险丝是德国SIBA的快速熔断型防爆灭弧保险丝管，在过流时会迅速熔断，以防伤及机件。

Faith 368使用两路保险丝，分别为10A和500mA，各自保护万用表两个电流输入端口。用过FLUKE 187/189以上档次万用表的用户都知道，FLUKE高档表配套保险丝管价格十分昂贵，一枚440mA的专用保险丝管零售价近百元，完全够买一块不错的入门级万用表了，在电流测量上稍有不慎保险丝就报废了，有些工程师甚至不敢用高档表测电流，为此专门准备一块低价位的万用表。Faith 368使用的是SIBA 500mA和10A保险丝，为通用产品，电子市场花不到30元就能买到。SIBA保险丝性能非常好，熔断速度快，并且内阻低，对测量影响小，远优于廉价保险丝管，不会出现“炸管”。虽然进口名牌保险丝管的价值都比较高，但相对于为三五千元的仪器提供的保护还是物有所值的，要是不慎烧掉高档万用表，那维修费用动则就几百上千元。Faith 368提供了相当好的保护功能，过压保护标称就达到1000V。对于会导致危险的插错表笔状况（如在电压测试模式下表笔插入了电流测试孔，一旦误操作必将引起短路），会发出屏幕提示和蜂鸣器连续告警，使用电流测试挡时，若内部保险丝损坏，也会在屏幕上有所提示。

Faith 368顶部有个USB接口，可以与计算机连机使用，不过笔者认为这个接口的设计是全机最脆弱的地方。考虑到防尘问题,该表为USB接口增加了保护盖，但由于端口比较小，所以保护盖也显得非常脆弱，使用次数多的话，连接件很容易断裂。Faith 368的USB接口为专用接口，并非大家手机上常见的mini-USB或Mirco-USB。使用USB接口传输相对于使用传统的红外线传输方式，大大提高了传输带宽，但少了红外线传输特有的完全光电隔离特性。Faith 368在PC数据传输电路设计中使用了2颗M601光电耦合器，增加隔离度，通过一片CP2102 USB桥接芯片提供了USB端口。

液晶屏与显示

Faith 368 的液晶屏为传统的预置笔画液晶屏，提供白色背光照明。Faith 368 液晶屏视角很好，平放、支撑放置以及从侧面看时，显示都很清晰。Faith 368 开启显示屏背光需要连续按两次黄色灯光按键，初次使用者可能会感到不习惯。其实灯光键还兼具其他功能键，是具有二次功能的组合功能键。不过，作为超常用的背光功能键，是否有必要与功能键复合在一起，有待商榷。Faith 368 显示方式与一些传统高级万用表一样，从上到下分为主屏幕数据显示区、模拟指针显示区、副屏显示区，熟悉使用 FLUKE 187/189 的用户一定不会对这种显示格式陌生。Faith 368 模拟指针条比较细致，分为 51 段，响应速度很快，可达每秒 32 次，可以用来显示一些快速跳变的信号。

总体上，Faith 368显示屏显示的信息比较丰富，除了测量数据可以通过数字和模拟指针条同时显示外，对于功能、量程、单位等信息也能一并显示。很多测试模式下，通过副屏显示区实现的双数据显示会给测量带来很多方便。如在最大值、最小值模式下副屏可以显示实时数值、在AC+DC测量时主、副屏可以分别显示交流和直流分量数值，在交流信号测量时可以同时显示电压和频率。目前，国外最新顶级万用表已开始配置点阵屏，以增加显示波形的能力。Faith 368由于使用的是预置笔画液晶屏，所以无法在

万用表上实现这类功能，只能通过USB端口与计算机连接来实现。

做工与内核

笔者一直认为，好的做工是高品质仪器的基本保障，是安全稳定耐用的基础。好东西是不怕被拆开看内部线路板的，这也是所谓的慧外而秀中。过去，美国HP就有不少不惜工本之作，时隔几十年，那些电路依然可以工作。

只要松开背部4颗螺丝，Faith 368就能拆开。从内部线路板上看，Faith 368使用了多层板和贴片元件，整个制版和元件焊接都还比较工整。对于主板关键区域，Faith 368都做了屏蔽处理，防止外界高频信号对万用表的测量造成干扰。在仪器表面的功能转盘和按键区域的塑料外壳内部具有金属喷涂层，同样起到了屏蔽的效果。

功能转盘部分，Faith 368在线路板上增厚了镀层，并使用了高性能的接触铜片，以保证接触点的可靠和使用寿命。

在取样电阻方面，Faith 368用料相对一般，属于常规器件，不过相信是经过筛选的，以保证精度，再加上软件修正，Faith 368仍然能达到较好的准确度。Faith 368核心使用了德州仪器（TI）的M430FG4618单片机,与FLUKE 289采用的M430F448属于同一系列。

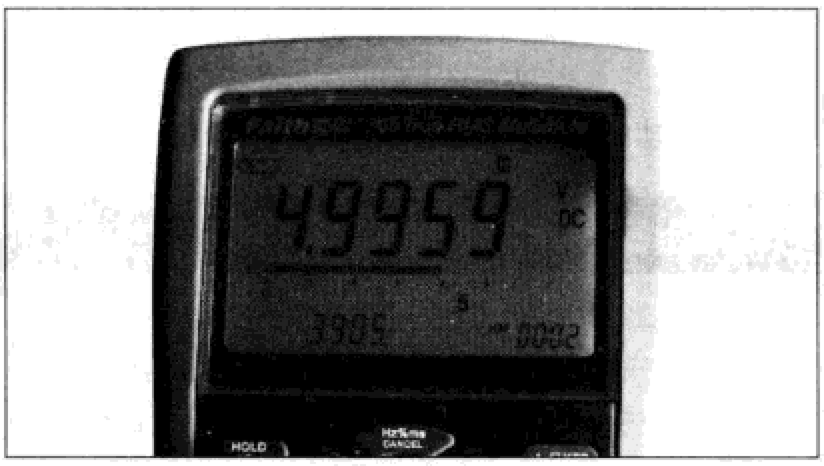
很多国内仪器厂家喜欢把芯片上的型号打磨掉，Faith没有这样干，值得庆幸。总的来说，Faith 368的做工在国货万用表中可以算是上乘之作。

性能与特点

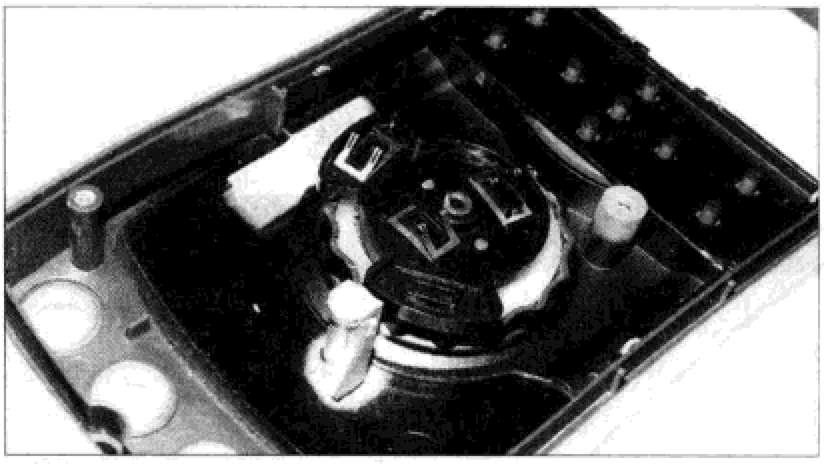
Faith 368作为一款高档表，自然是一款真有效值万用表。在交流测试时，通过有效值测量方法可以更准确地测量交流信号，尤其是非正弦交流信号。Faith 368为4⁴/₅位显示，最大显示为“49999”，基本直流精确度最高0.025%，最高分辨率1μV，交流频响200kHz，高电阻200MΩ测量。这些基础指标在手持万用表中都属于顶尖水平。

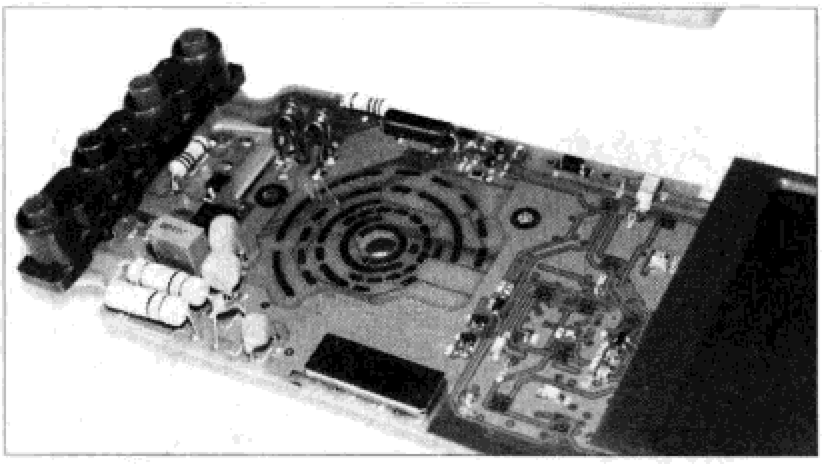
在功能方面，Faith 368除了基本的直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻、电容、温度、频率、分贝、占空比、通断蜂鸣、脉宽、相对值、电导常规功能外，还具有趋势绘图、单道示波器、谐波分析、专利设计的二极管测量功能（阈值可调）、超强USB PC通信等功能。Faith 368在FAST/MIN模式下可以捕捉250μs的瞬时信号，该功能令市面上绝大多数万用表汗颜，通常这样的工作需要动用示波器。

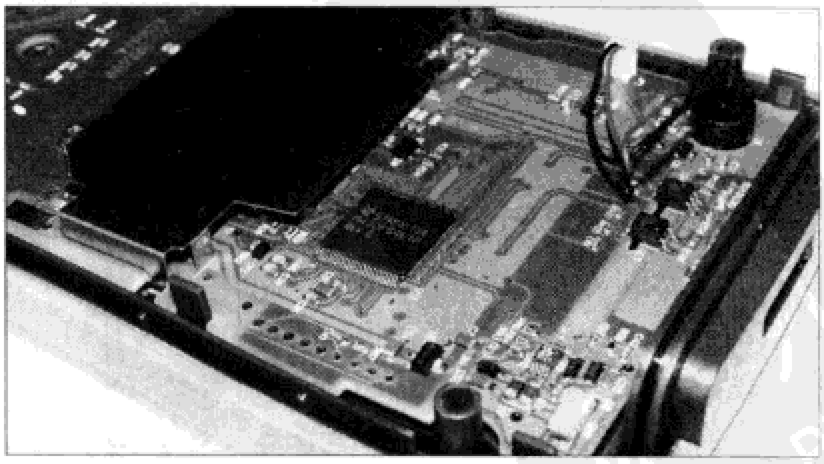
Faith 368有简单的菜单设置系统，分为通用菜单和专属菜单，专属菜单只有在调用该功能的情况下才会出现。菜单的前进、后退以及修改不是

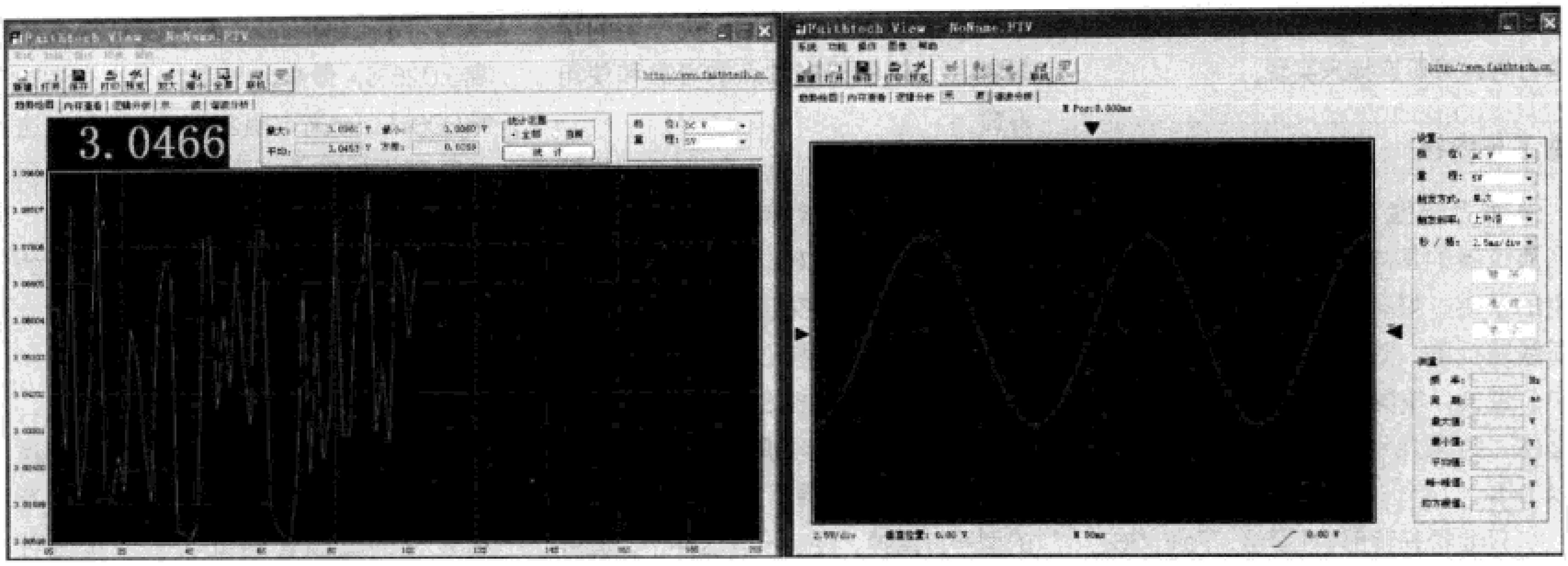


Faith 368液晶显示效果


面板背面


Faith 368主板正面


Faith 368主板背面上的单片机



Faith 368连接PC后实现的趋势绘图和示波功能

很方便，可能设计者本意是将专属菜单作为精简菜单，但这对初次接触该万用表且没有仔细研究说明书的用户会造成一些麻烦。其实个人以为，可以充分利用灯光键上下左右4个自然按键作为方向导航键，更适合年轻人操作的习惯（类似手机导航键操作）。

Faith 368除了真有效值测量外，最大的特点是具备数据记录功能。通过记录功能，可以抓住一些电子设备的瞬间故障或者一段时间内的所测设备的参数变化情况。Faith 368内部存储器可以记录高达220个带时间标记的测量数据，我们很容易据此再利用附带PC软件的趋势绘图功能形成曲线图。

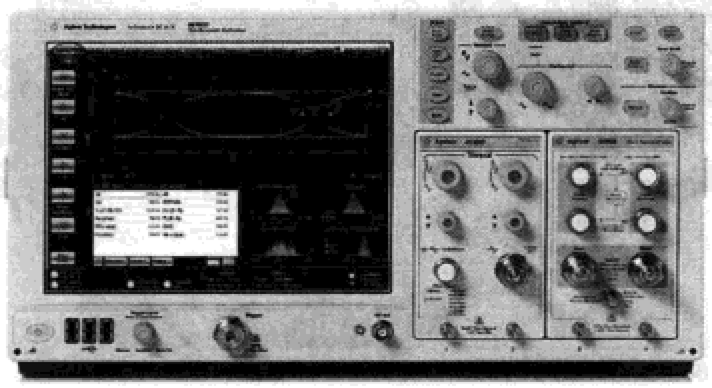
例如，我们用该万用表连续测量并记录一台稳压电源在恒定负载下输出的电压值，然后作为判断电源输出稳定度的依据。Faith 368连接计算机，通过FaithtechView联机软件可以实现诸多扩展功能，诸如趋势绘图、查看内存数据、逻辑分析、单通道示波（当然频率不可能很高）、谐波分析等。

总的来说，Faith 368 是一台功能超强、性能不俗的高指标型万用表，在很多方面可以与国外名牌产品一比高下。当然，它在一些小的细节上依然有改进的余地。Faith 368 的价格在同档次产品中有一定的优势，坚固耐用性有一定的保证。Faith 在售前售后服务方面也体现出负责的风范，售前有专业的产品介绍甚至试用，售后除了国家规定的质保外，还有仪器校准的延伸服务。

希望国产万用表能在国内的高端仪表市场上创出自己的一片天地，使更多的国人有机会用上国产的好仪器。

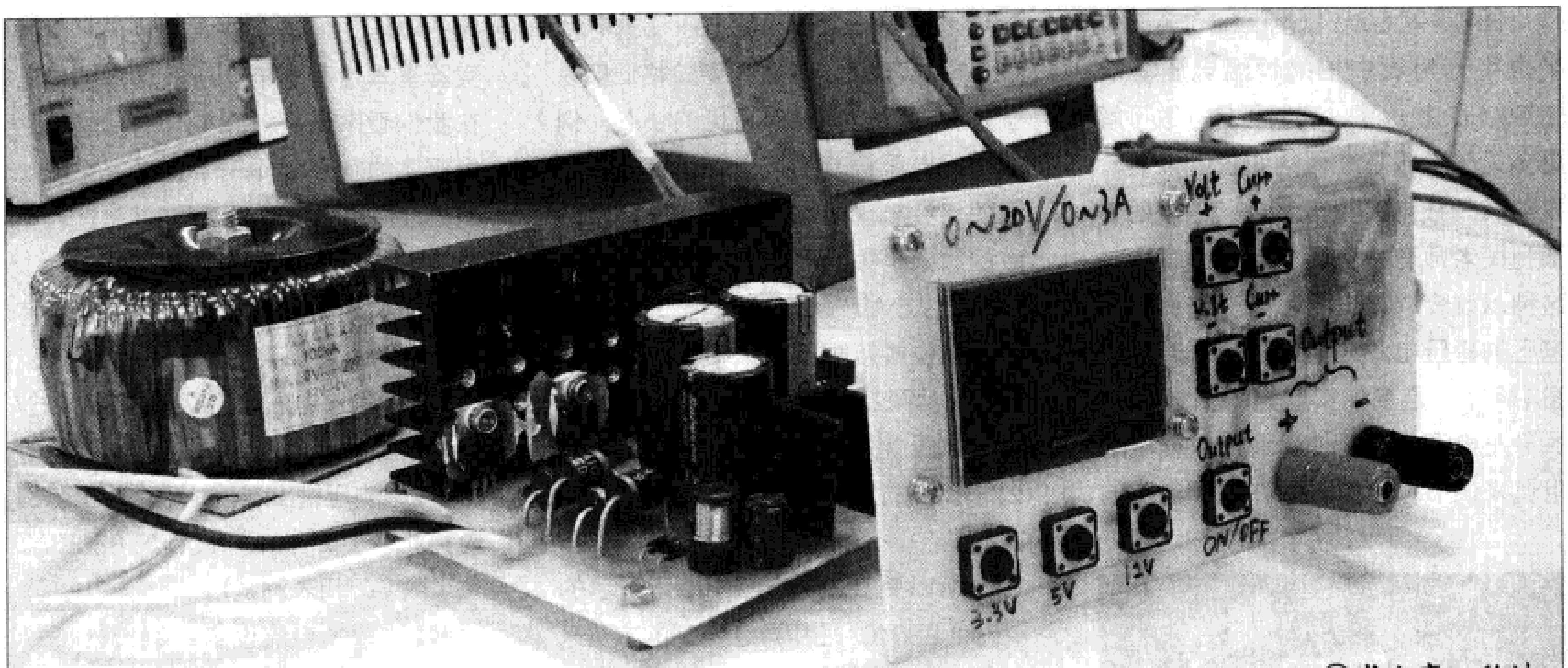
Agilent推出新宽频示波器86100D DCA-X

安捷伦科技推出Agilent 86100D DCA-X宽频示波器，它为工程师提供了轻易且准确地对高速数字设计进行特性描述所需的工具。DCA-X的主机平台可让工程师执行下一代测量，包括内建的去嵌入功能。搭配新的模组，DCA-X可支援多达16个测量通道。DCA提供的高类比频宽、低杂讯和低抖动测量，可协助工程师透过50 Mb/s到40 Gb/s以上的信号，来了解他们设计的真实效能。



芯科推出高效5kV数字隔离器

芯科实验室推出高性能5kV数字隔离器Si84xx系列，该系列产品可用于取代传统光耦合器，应用于恶劣应用环境下及通用电源系统中的。Si84xx数字隔离器采用Silicon Labs的专利架构，可将数据误码降至最低，且电磁辐射也比采用变压器隔离设计低很多。能提供更佳的静电放电（ESD）抗干扰能力、更高的电磁噪声容忍度、更低的抖动和更精确的整体时钟特性。



◎肖庆高　魏坤

制作一台数控恒压恒流电源 上

直流稳压电源是任何电子电路试验中不可缺少的基础仪器设备，基本在所有的跟电有关的实验室都可以见到。对于一个电子爱好者来说，直流稳压电源也是必不可少的。要得到一个电源，一般有两种方法：一是购买一台成品电源，这样最为省事；二是自己制作一台电源（因为你是电子爱好者），当然相比于第一种方法会麻烦很多。很显然这篇文章不是教你如何去选购一台直流稳压电源……

基本的恒压恒流电源结构框图如图1所示。由电压基准源、调整管、误差放大、电压取样以及电流取样组成。电压基准源的作用是为误差放大器提供一个参考电压，要求电压准确且长时间稳定并且受温度影响要小。取样电路、误差放大和调整管三者组成了闭环回路以稳定输出电压。这样的结构中电压基准源是固定的，电压和电流的取样电路也是固定的，所以输出电压和最高的输出电流就是固定的。而一般的可变恒压恒流电源是采用改变取样电路的分压比例来实现输出电压以及最高限制电流的调节。

图2是一个基本输出电压可变的稳压电源简图，可以很明显地看出这个电路就是一个由运算放大器构成的同相放大器，输出端加上了一个由三极管组成的射极跟随器以提高输出能力，因为射极跟随器的放大倍数趋近于1，所以计算放大倍数时不予考虑。输入电压V+通过R1和稳压二极管VD产生基准电压*Vref*，然后将*Vref*放大1+*R3*/*R2*倍，即在负载RL上得到的电压为*Vref*（1+*R3*/*R2*）。因为R3可调范围是0~R3max，所以输出电压范围为*Vref*~*Vref*（1+*R3*max/*R2*）。这就和我们常用的LM317之类的可调稳压芯片相似了，只是像LM317之类的芯片内部还集成了过热保护等电路，功能更加完善。但是它也有弊端，例如电压基准、调整管、误差放大电路都集成在了一个芯片上，因此在负载变化较大时芯片的温度也会有很大的变化，而影响半导体特性的主要因素之一就是温度，所以使用这种集成的稳压芯片不太容易得到稳定的电压输出。这也正是高性能的电压基准都采用了恒温措施的原因，比如LM399、LTZ1000等。

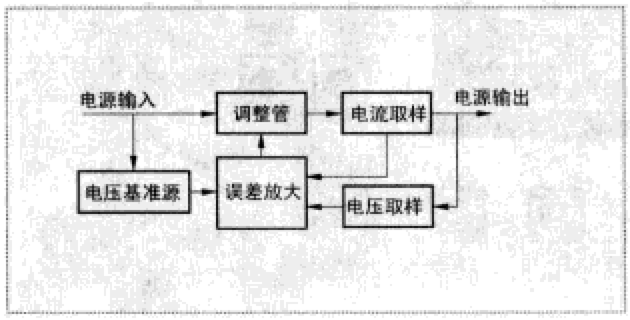


图1 基本恒压恒流电源框图

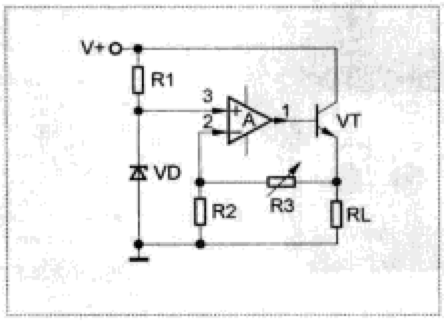


图2 基本稳压电源简图

图3是笔者从FLUKE 8808A五位半数字万用表中拍的恒温电压基准LM399H。扯远了，言归正传（欲了解更多关于电压基准源的知识，请参看以前《无线电》杂志2008年第7期中张利民老师有关电压基准的文章）。这种以改变取样电阻阻值来改变输出电压的稳压电源应用是比较普遍的。图4照片中是我们实验室中大量使用的稳压电源，就是使用调节取样电阻阻值来调节输出电压的，电压电流的显示是使用一片专用的电压测量芯片ICL7107实现的。这种电源价格低廉易于普及，但也有显而易见的缺点，例如进行电压调节的可变电阻经过长时间使用会出现接触不良的情况，这导致的后果是相当严重的，假设你正在将电压从5V慢慢地向6V调整，因为某个点电位器接触不良，相当于电位器开路，从图2可以看出，R3开路的话，输出电压就是能输出的最高电压，那么你心爱的电路板就可能会回到文明以前了。

图3 一只正在FLUKE 8808A 五位半数字万用表中“服役”的LM399H

所以更高端的电源如图5所示的Agilent E3640A采用数字控制的方法来实现电压以及电流调节的，使用按键或旋转编码器进行设定，这样就根除了调节环节的隐患。

然而一切事物都不可能完美，因为数控电源的输出电压都是以最小步进电压值为间隔的离散的电压点，所以不能像模拟控制的电源那样输出连续的电压。但这个缺点对我们平时的实验基本没有影响，所以这样的电源在我们看来还是“完美”的。这篇文章要讲的就是制作一个这样“完美”的数控恒压恒流电源。图6就是这台电源的实物照片。

本文所讲的数控恒压恒流电源特性如下：

1．输出电压设定：0~20V/0.05V步进；

2．电压输出误差：整个输出范围内实测小于±10mV（FLUKE 8808A五位半数字万用表测试）；

3．输出电流设定：0~3A/0.01A步进；

4．电流显示误差：小于±5mA（FLUKE 8808A五位半数字万用表测试）；

5．输出纹波峰峰值小于8mV@2A（Agilent 54641D示波器测试）；

6．具有关闭设定参数记忆功能；

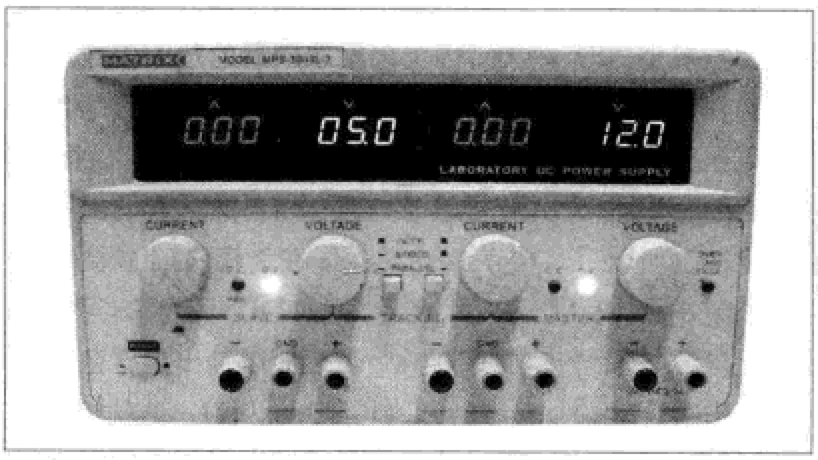


图4 常用的稳压电源

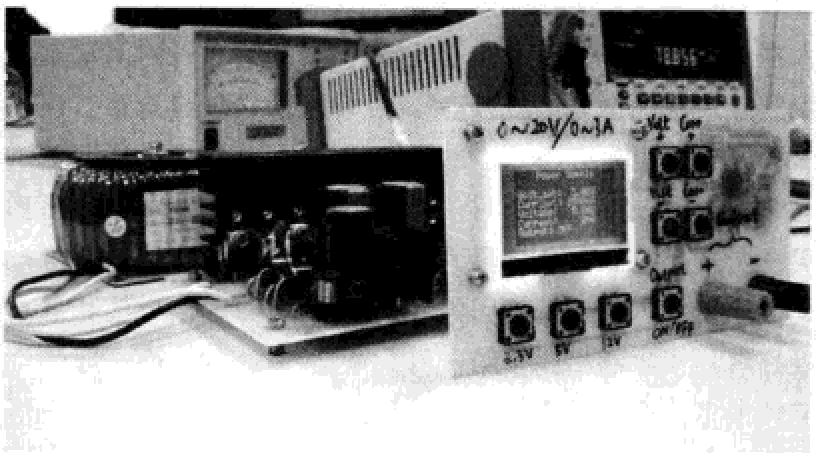


图6 本文所讲述的数控稳压电源

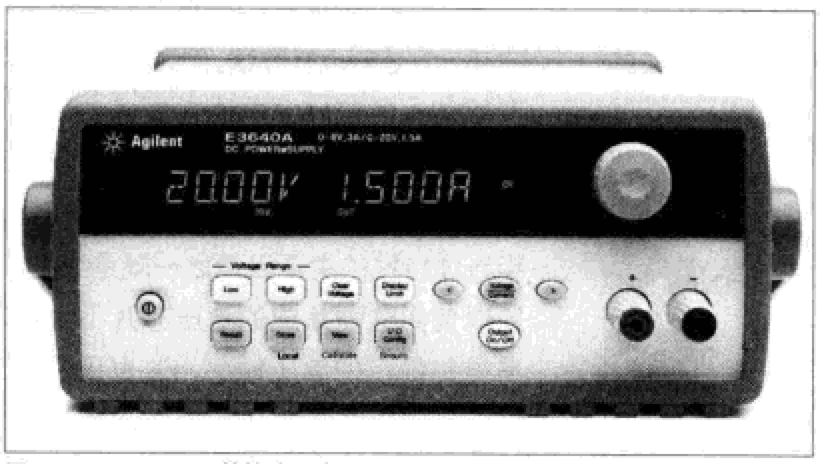


图5 Agilent E3640A数控稳压电源

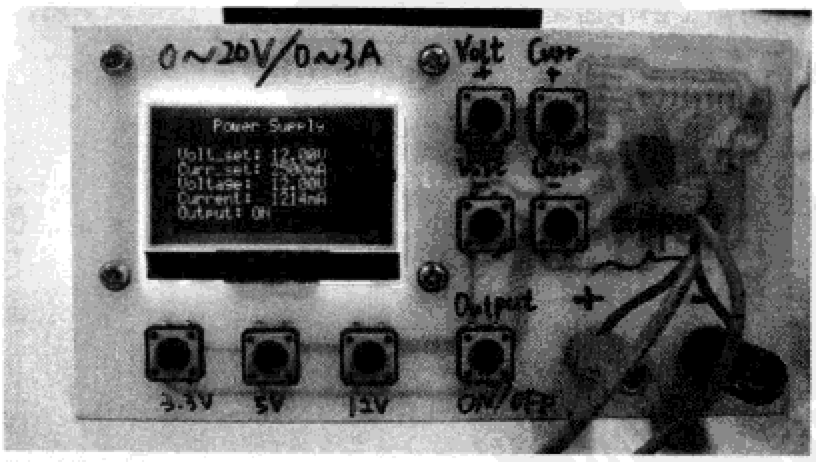


图7 面板特写

7．具有输出使能功能；

8．三个常用电压值直接设置(3.3V、5V、12V)（可通过程序修改）；

9．使用12864液晶显示器，实时显示设定的电压值、电流值，当前通过测试得到的电压值、电流值以及输出状态（如图7所示）。

原理简析

电源部分的原理图见图8。这是个恒压恒流电源，所以它的结构和图1框图中所示结构的就不会有太大的差异。首先220V的交流市电经过变压器T1变压后得到交流双12V输出，即有中间抽头的交流24V，VD1~VD4组成了桥式整流电路，这个相信大家不会陌生。在这个桥式整流的上方还多了两只晶闸管VT1、VT2，方向和VD1、VD2相同，这两个晶闸管的作用是进行电压挡位切换的。当电源的设定输出电压设为在8V以内时，P4端口的第4脚HI/LOW为低电平（该电平由单片机程控输出），IC1、IC2两只光电耦合器不工作，所以晶闸管VT1、VT2断开，此时的整流桥由VD1、VD2、VD3和VD4组成，这时进入整流桥的是交流12V。当电源的设定输出电压高于8V时，P4端口的第4脚HI/LOW为高电平，这时IC1、IC2两只光电耦合器上电工作，VT1、VT2工作，交流24V被加到了VT1、VT2上，VD1和VD2此时被反偏而截止，交流12V断开，所以此时的整流桥由VT1、VT2、VD3和VD4组成，对交流24V进行整流。这样就实现了电压挡位的切换，代替了以继电器切换的传统方式。因为没有机械部件，所以寿命更长、可靠性更高。

与图1中的结构图相比这个电源的电压电流值都是可以调节的，所以不是取样电路可调就是基准电压可调。这里我们使用了调基准电压的方法，因为取样电路的调整一般是通过改变两个分压电阻的阻值来调整，不容易实现数字化控制，虽然现在有数控电阻但大多只有8位，精度太低不能满足要求。在这里调节基准电压是使用了一只12位的双通道电压输出型DA转换器TLV5618（IC5），关于这个芯片使用可以参考2010年1月份《无线电》杂志中魏坤写的数字示波表的文章，其中有详细的描述，这里不多说了。TLV5618是双通道12位的DA转换器，A通道用于最高输出电流的设定，B通道用于输出电压的设定。使用REF191E（IC6）作为TLV5618的电压基准，这也就是整个电源的电压基准，基准电压为2.048V。因为REF191E的温度系数为5ppm，负载调整率为4ppm，而且输出电流高达30mA所以完全满足稳压电源对基准的需求，属于“高

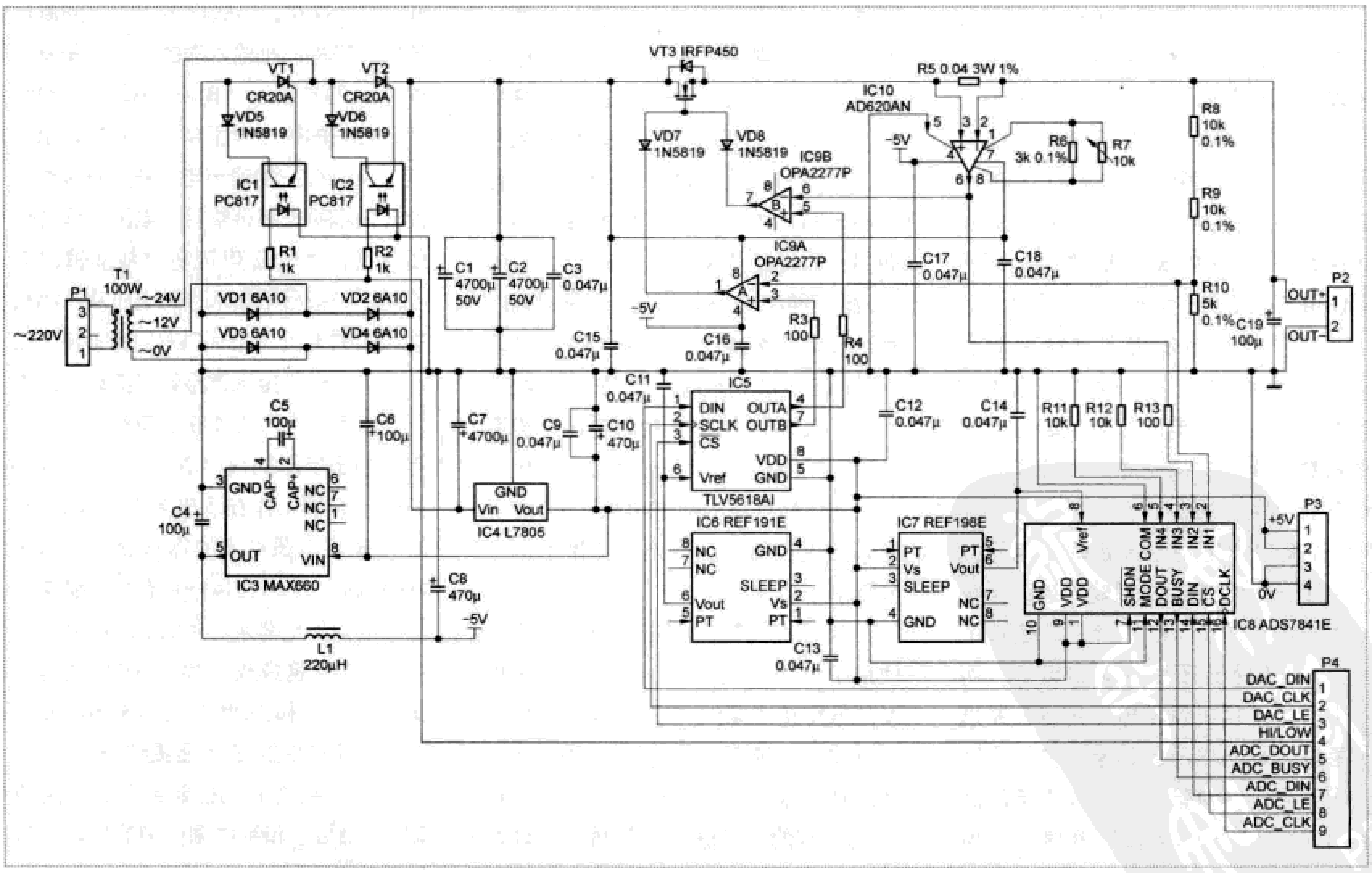


图8 电源部分原理图

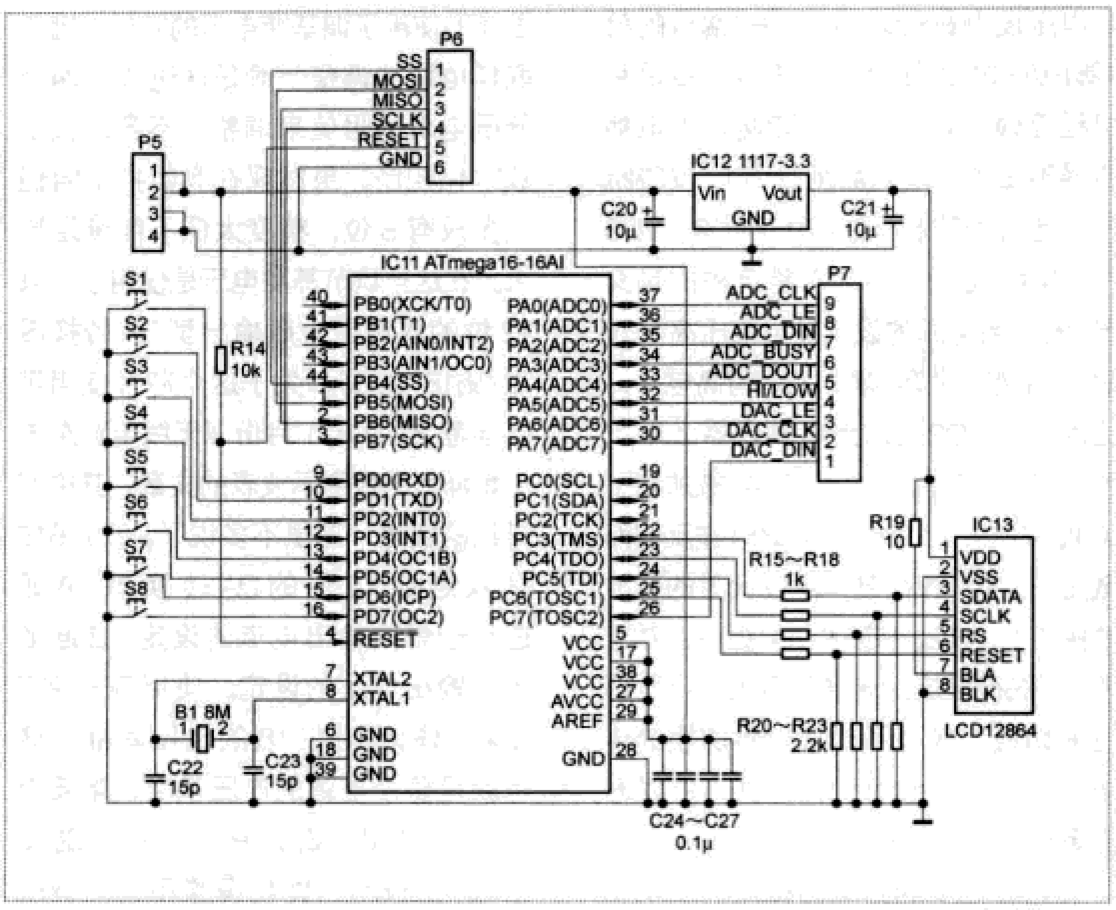


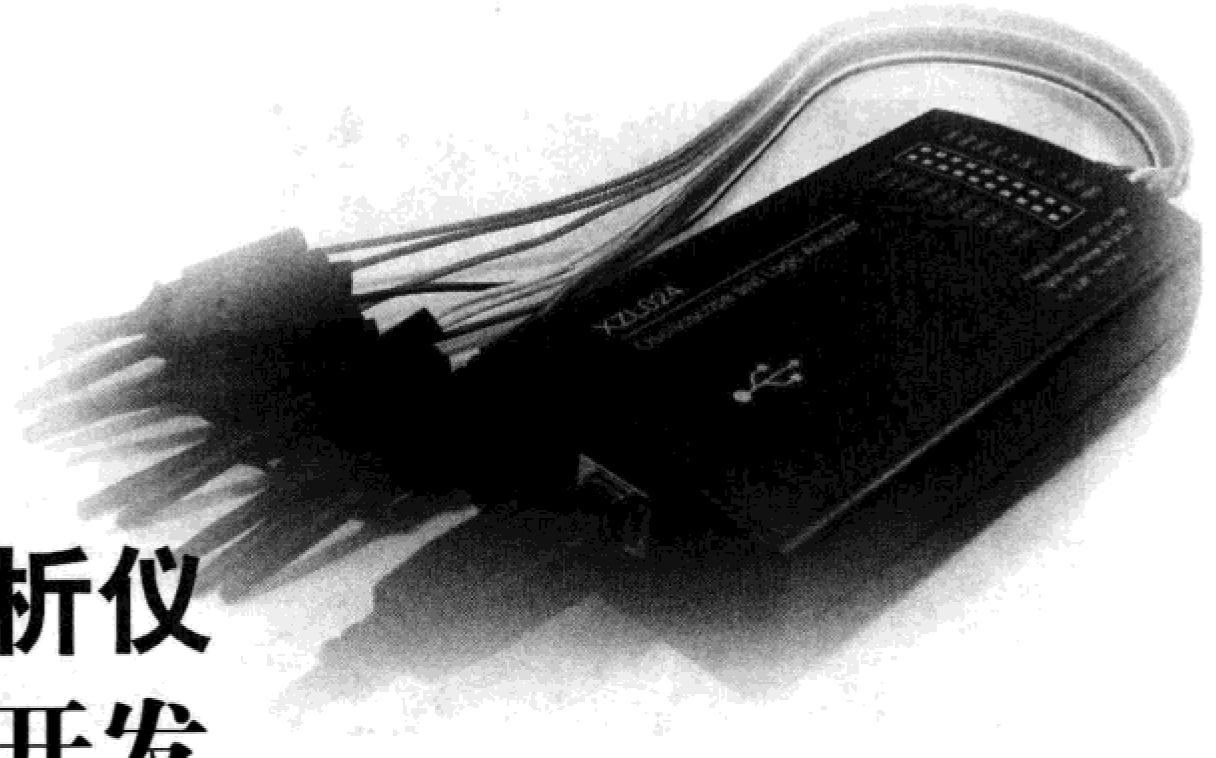
图9 控制部分原理图

配”。TLV5618使用2.048V的基准，输出电压0~4.095V时对应的输入数据为0~4095，我们在这里只取其0~4.000V的输出电压范围，步进1mV。对其进行5倍放大就得到了0~20.00V的输出电压，步进5mV。我们的电源所标称的步进是50mV，这样就有足够的余量对DA转换器的输出带内误差进行修正，但实际使用中不经修正也是满足要求的。

误差放大器使用了高精度双运算放大器OPA2277P（IC9），因为它有着超低的失调电压和超低的温度漂移系数，能对提高电源的精度和稳定度有着至关重要的作用。TLV5618的B通道输出电压用于设定输出电压，该电压送到IC9A的同相输入端，反相输入端输入通过R8、R9和R10组成的1/5分压电路分压后的输出电压。两者进行比较输出误差电压用以控制调整管进行输出电压的调整，进而实现稳压的目的。对输出电压和电流的测量为了能和输出DA转换器对应，所以使用了一片12位4通道的AD转换器ADS7841E，一通道用于输出电压的测量，二通道用于输出电流的测量。ADS7841E需要一片4.096V的电压基准，所以使用REF198E（IC7）为其提供，REF198E和REF191E是同系列芯片，就不多说了。输出电压经过1/5分压后一路送入电压误差放大器IC9A，而另一路送到了ADS7841E（IC8）的第2脚，即ADS7841E的第一模拟输入单通道进行AD转换，ADS7841E的输入范围是0~4.095V，对应的输出数据为0~4.095V，测试转换的电压分辨率为1mV，但是输入电压是经过1/5分压的，所以转换后的数值再乘以5才能得到输出电压值，所以电压测量的最小分辨率为5mV。

为了提高输出电流取样的精度，使用了一只DALE产的0.04Ω3W 1%精度的低阻值电阻R5来进行电流取样，流过1A的电流可以产生40mV的压降。然后使用仪表放大器AD620（IC10）对R5两端的压降进行25倍放大，可以得到1V/1A的电流取样关系，0~3A的输出电流对应0~3V的取样输出电压，可以同时满足DA转换器和AD转换器的要求。电流取样所得到的电压一路送到IC9B进行误差放大，另一路送到AD转换器的第二输入通道进行AD转换，测量输出电流。因为ADS7841E的输入范围是0~4095V，对应的输出数据为0~4095，所以电流测量的最小分辨率为1mA。AD620的放大倍数由R6和R7的并联值决定，计算公式为Rg=49.4kΩ/（G-1），其中G为放大倍数，带入G=25可得，Rg=2.058kΩ。因为2.058kΩ不是标准阻值，故而使用多圈电位器调整得到。为了提高电路的可靠性，所以使用3kΩ的固定电阻和10kΩ的电位器并联使用，即使电位器失效，也不致使电路参数发生巨大变化而损坏。TLV5618的A通道的输出电压送到IC9B的同相输入端，IC9B的反相输入端输入电流取样的电压，由IC9B进行误差放大输出控制调整管。因为有VD7和VD8的存在，当输出电流小于限制电流时IC9B的同相输入端的电压高于反相输入端的电压，此时IC9B输出达到饱和，IC9B的输出电压高于IC9A的输出电压，所以IC9B的输出电压被VD8隔离，此时由IC9A控制调整管，电路工作在分压状态。当输出电流超过最高输出电流时，IC9B反相输入端的电压高于同相输入端的电压，此时IC9B的输出电压低于IC9A，于是接管调整管以实现输出电流的恒流，电路工作在恒流状态。因为电源输出电压的最小值是0V，所以IC9和IC10必须工作在双电源下，而IC9和IC10对负电源电流的需求很小（低于10m A），所以使用一片有100mA电流输出能力的电荷泵芯片MAX660（IC3）将+5V电压镜像成-5V为IC9和IC10提供负电压，L1和C8组成LC滤波器以滤除纹波，使产生的-5V电压更纯净。

下一期将介绍控制部分的电路原理（见图9）和制作调试中的技巧，敬请期待。



◎李忠军

巧用逻辑分析仪助力单片机开发

单片机开发工程师和电子爱好者，每天都要和各种各样的数字电路打交道。在制作调试电路时除了使用万用表、示波器等工具，逻辑分析仪也是必不可少的。

逻辑分析仪是利用时钟从测试设备上采集和显示数字信号的仪器，最主要的作用在于时序判定。逻辑分析仪与示波器不同，它不能显示连续的模拟量波形，而只显示高低两种电平状态（逻辑1和0）。在设置了参考电压后，逻辑分析仪将采集到的信号与电压比较器比较，高于参考电压的为逻辑1，低于参考电压的为逻辑0。这样就可以将被测信号以时间顺序显示为连续的高低电平波形，便于使用者进行分析和调试。使用逻辑分析仪，可以方便地设置信号触发条件开始采样，分析多路信号的时序，捕获信号的干扰毛刺，也可以按照规则对电平序列进行解码，完成通信协议分析。

逻辑分析仪根据其硬件设备的功能和复杂程度，主要分为独立式（单机型）逻辑分析仪和基于电脑（PC-Base）的虚拟逻辑分析仪两大类。独立式逻辑分析仪是将所有的软件，硬件整合在一台仪器中，使用方便。虚拟逻辑分析仪则需要结合电脑使用，利用PC强大的计算和显示功能，完成数据处理和显示等工作。

专业逻辑分析仪，通常具有数量众多的采样通道，超快的采样速度和大容量的存储深度，但昂贵的价格也不是个人所能承受的。作为工程师手头常备的开发工具，目前有许多入门级的逻辑分析仪设计，整体功能虽然不能和专业高档仪器相比，但是用较低的成本来实现特定的功能，也是非常成功的设计。本文以下讨论的逻辑分析仪，主要是指这类入门级设计。

基于电脑并口的逻辑分析仪曾是主流，但是近年来电脑系统逐步不再配置并口，这类设计已经成为明日黄花，仅仅还具有原理学习的价值。

另一类的逻辑分析仪，是以低速单片机为基础的。很多爱好者用PIC、AVR等常见单片机设计了自己的作品。但这类单片机逻辑分析仪的共同弱点就是采样速度太慢，通常不超过1MHz。

以USB IO芯片为基础的入门级逻辑分析仪现在最为流行。比如Saleae logic，还有类似的USBee等。这类产品主要采用一个USB IO芯片，例如CYPRESS公司的CY7C68013A-56PVXC，所有的信号触发和处理工作都是电脑上的软件完成的，硬件部分就只是一个数据记录仪。最高采样速度为24MHz。它们可以“无限数量”地采样，因为所有的数据都是存储在电脑里的。目前一般最多是8个通道，更多的通道数量会成比例地降低最高采样速度。这类产品构造简单，方便易用，价格便宜，是调试单片机开发工作的好工具。它的缺点主要是采样速度只有24MHz、8个通道，对于分析高速并行总线就不能胜任了。更进一步的设计，需要增加FPGA、SRAM等器件，才能解决速度不够和通道数量不足的问题。

下面就以Saleae逻辑分析仪为例，通过采样分析I^2C总线波形和PWM波形，简单介绍它的特点和使用方法。

先介绍用逻辑分析仪采样单片机对I^2C器件AT24C16的写数据过程。

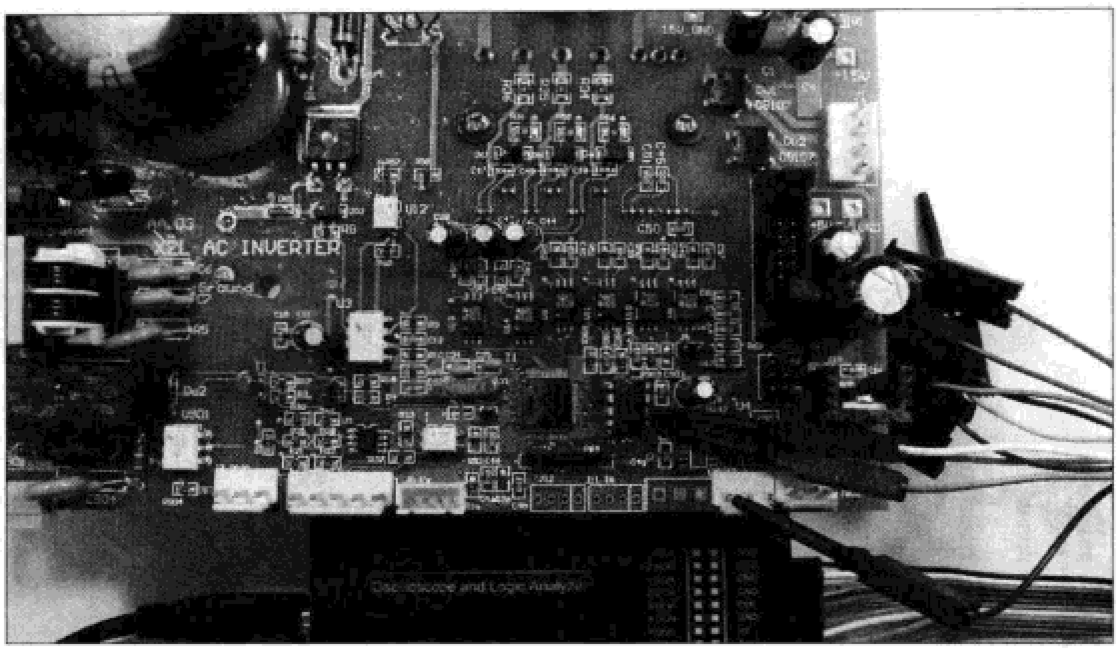


图1

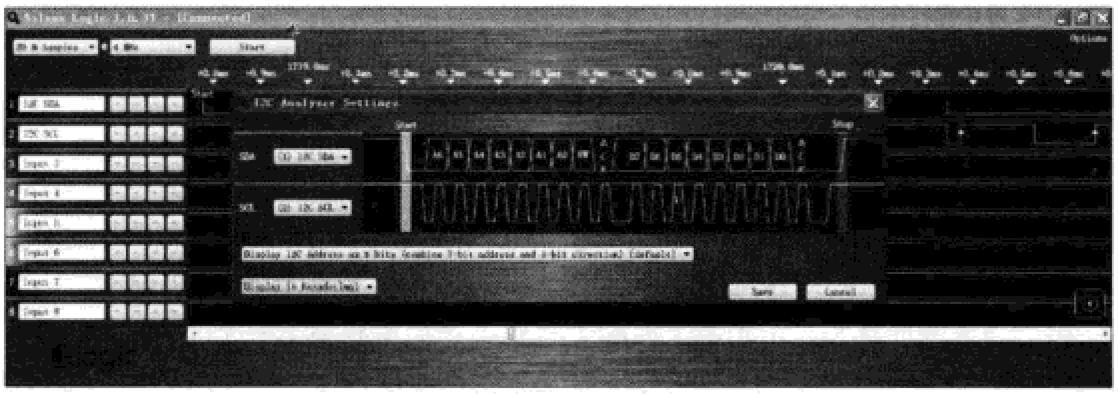


图2

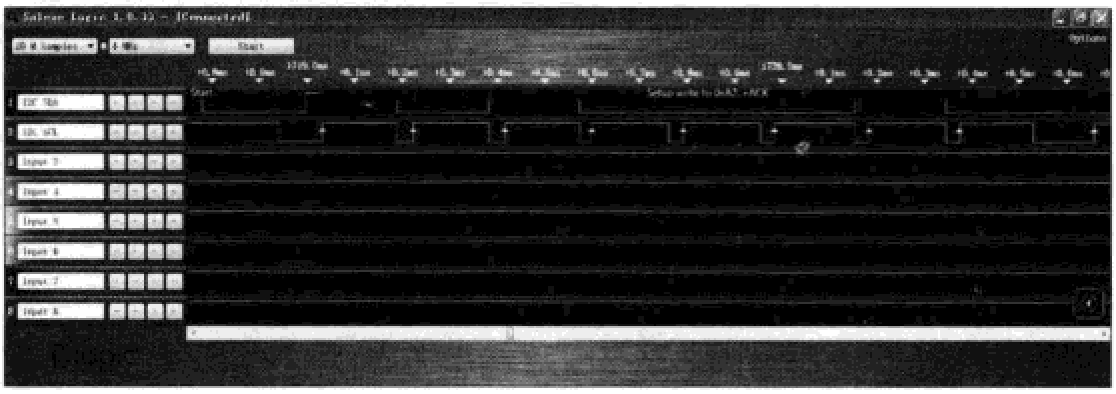


图3

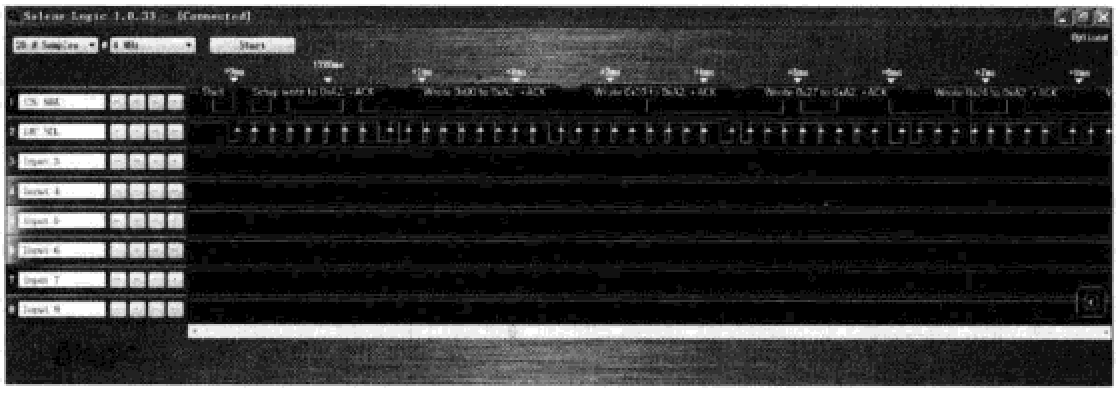


图4

硬件连接

1. 先将逻辑分析仪的GND与目标板的GND连接，让二者共地。

2. 选择需要采样的信号，这里就是AT24C16的SDA和SCL，将SDA接入逻辑分析仪的通道1（Input 1），SCL接入通道2（Input 2）。

3. 将逻辑分析仪和电脑USB口连接，windows会识别该设备，并在屏幕右下角显示USB设备标识。

软件使用

1. 运行Saleae软件，此时逻辑分析仪的硬件已经与电脑相连，软件会显示[Connected]。

2. 设置采样数量和速度，I^2C为低速通信，所以速度设置不必太高，这里设置为20M Samples @ 4M Hz的速度，也就是能持续采样5秒钟。

3. 设置协议，点右上角的“Options”按钮，找到analyzer1，设置为I^2C协议，详见图1。

4. 按“Start”按钮，开始采样。

数据分析

采样结束后，可以看到波形，见图2。由于我们设置了是I^2C分析，因此不光显示出波形，还有根据I^2C协议解码显示的字节内容。单片机对AT24C16进行写入操作，在0x00地址处写入10000等数字。波形起始是“start”信号，然后依次是AT24C16的标识0xA2，写入地址0x00，数据0x10，0x27等。由于写入以字节为单位，因此0x2710 = 10000，表明采样成功。

将鼠标放在波形上，点击左键，实现zoom in功能。结果见图3，在“start”条件后，在SCL的8个连续脉冲的高电平处，SDA对应的信号为10100010，即0xA2，第9个脉冲高电平处为0，是ACK标志。

以上简单介绍了用逻辑分析仪进

行I²C分析的过程，可以看到操作起来非常简单。

下面再介绍利用逻辑分析仪采样三相交流电机驱动器的6路PWM波形。

硬件连接

1. 先将逻辑分析仪的GND与目标板的GND连接，让二者共地，见图5。

2. 选择需要采样的信号，这里就是单片机6路PWM波形的输出引脚，将其接入逻辑分析仪的通道1（Input 1）至通道6（Input 6），并且把通道的名字改为Utop、Ubottom、Vtop、Vbottom、Wtop、WBottom，分别代表三路输出的上下桥臂。

3. 将逻辑分析仪和电脑USB口连接，windows会识别该设备，并在屏幕右下角显示USB设备标识。

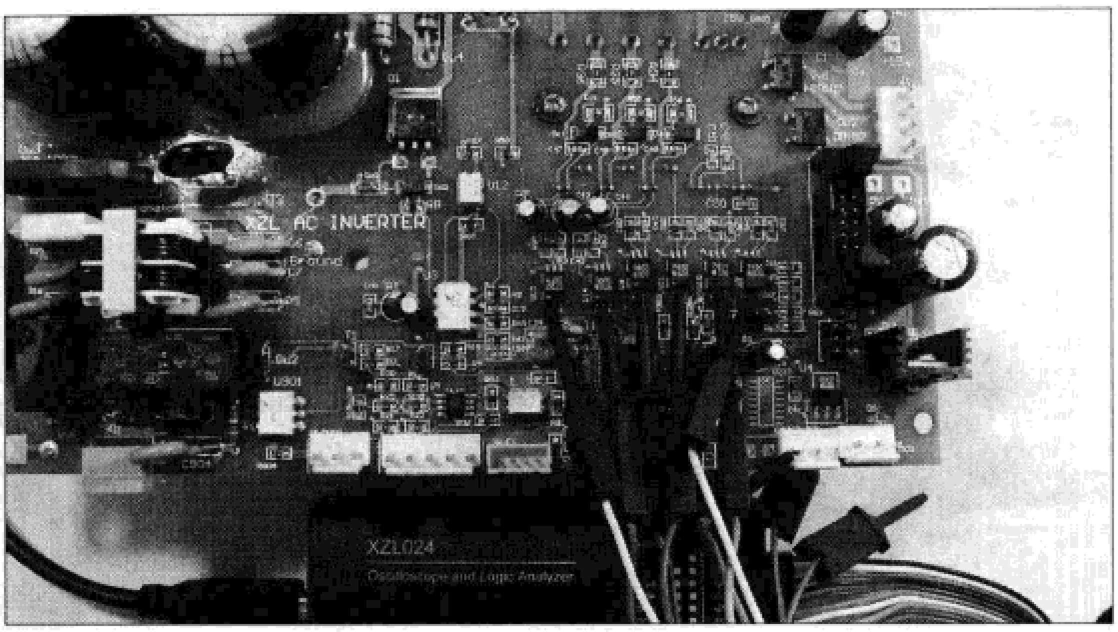


图5

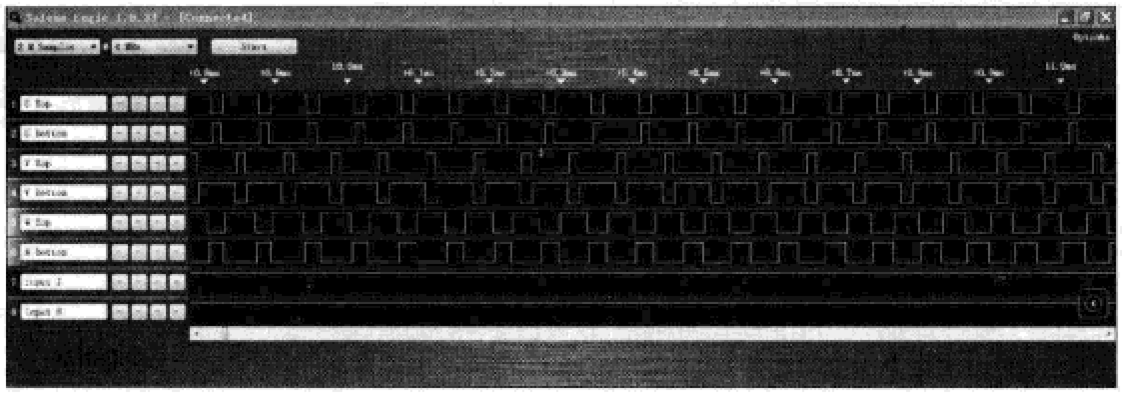


图6

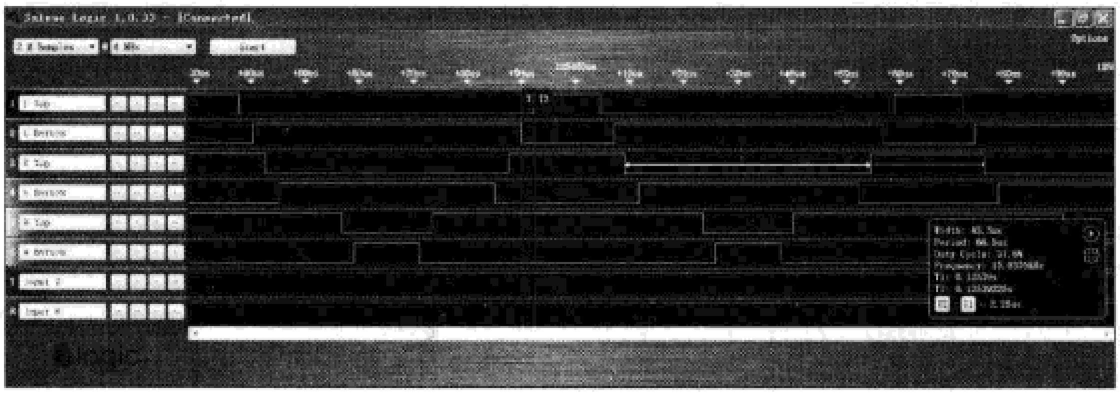


图8

软件使用

1. 运行Saleae软件，此时逻辑分析仪的硬件已经与电脑相连，软件会显示[Connected]。

2. 设置采样数量和速度，PWM的频率为15kHz，这里设置为2M Samples @ 4MHz的速度。

3. 设置触发条件，默认“----”就可以了。

4. 按“start”按钮，开始采样。

数据分析

采样结束后，可以看到波形，见图6。典型的三相电机驱动PWM是互补型的，即一组信号的上下两个波形的状态是相反的，分别控制这组桥臂上下两个开关管的状态，避免同时导通造成短路，见图7。

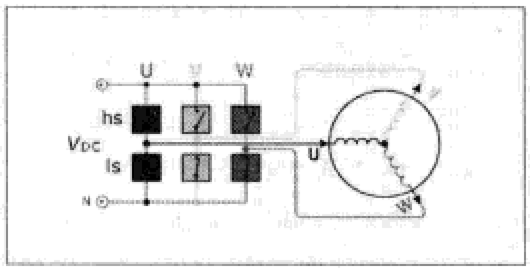
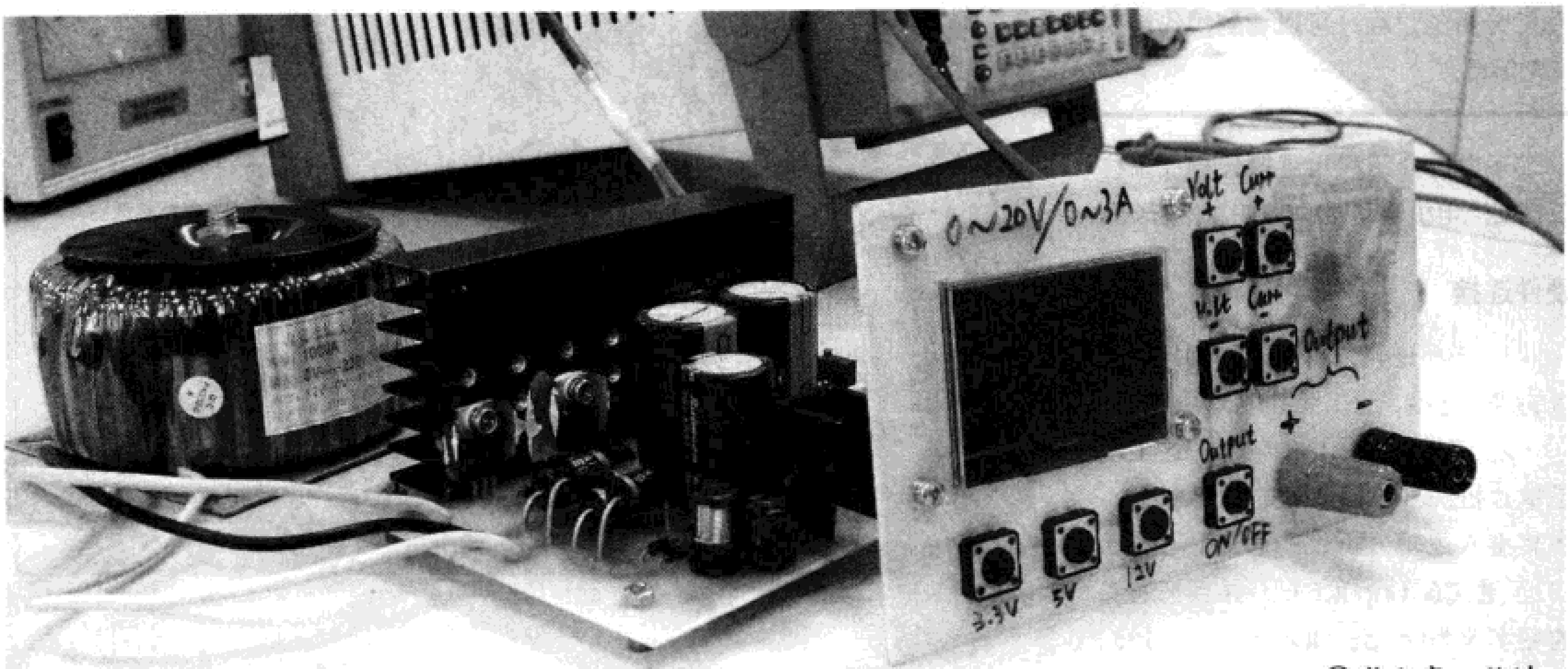


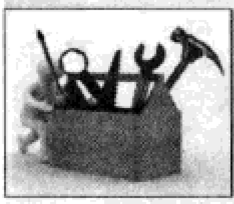
图7 典型的三相电机驱动电路

将鼠标放在波形上，连续点击左键，实现zoom in功能。见图8。在UBottom的下降沿和UTop的上升沿放置标记线，在右下角的显示框中，可以看到T2-T1=2.25μs，这就是先关断后打开的时间差，专业上称为“死区时间”（Deadtime）。另外，还可以看到PWM的宽度45.5μs，周期66.6μs，占空比31.6%，频率15.0376kHz等信息。这就是一个典型的三相电机变频器的SVPWM波形。

以上两个例子，简单介绍了逻辑分析仪的使用，希望能对广大爱好者有所帮助和启发。



◎肖庆高 魏坤



制作一台数控恒压恒流电源 下

第11期的控制部分的电路你制作了吗？下面说说它的原理，其实控制部分就是一个以ATmega16单片机（以下简称M16）为核心的最小系统，外设有按键S1~S8和128×64分辨率的液晶显示器，还有引出的9个I/O口P7和电源板上的P4相连用于控制电源板。P6是单片机的程序下载接口，用于程序的下载和以后固件的升级。P5是控制板的电源输入端，和电源板的P3相连。

因为控制电源所需的按键仅为8个，而且单片机的I/O口又很富余，所以将每个按键独立的连接在一个I/O口上，这样一来程序会变得很简洁，S1~S8分别接PIND.0~PIND.7。单片机外部控制的芯片有3个，分别是TLV5618（IC5）、ADS7841E1（IC8）和12864液晶显示器（IC13），其中IC5和IC8工作在5V，而只有IC13工作在3.3V，所以让单片机工作在5V，以适应IC5和IC8的接口电平，对IC13的控制使用8只电阻R15~R18和R20~R23分压进行电平转换，而IC13的供电使用一片ASM1117-3.3（IC12）线性稳压器，将5V稳压到3.3V为其单独供电。IC13是一片串行控制的12864液晶显示器，控制线只需要4根，所以很节省单片机的I/O口，但是这个12864液晶屏属于图形液晶，本身没有字库，所以我仿照1602的字符点阵做了ASCII字库，放在程序包中。对于液晶的驱动做了一个专门的程序lcd_con.c，可以方便地调用，也可以移植到别的程序中，支持正显反显和任意定位，具体可以参考程序包，这里就不多说了。

单片机的PORTC.7、PORTA.7、PORTA.6这3个I/O口分别接TLV5618（IC5）的DATA、CLK、LE，用于串行发送DA转换控制数据，PORTA.5接HI/LOW，作用是控制电源的输入挡位，输出不高于8V时，该端口输出低电平，选通交流12V输入到整流电路。输出高于8V时该端口输出高电平，选通交流24V输入到整流电路。PINA.4、PINA.3、PORTA.2、PORTA.1和PORTA.0这5个I/O口分别接ADS7841E的DOUT、BUSY、DIN、LE和CLK，用于向ADS7841E发送通道选择、AD转换命令以及从ADS7841E中读取转换结果，因为DOUT和BUSY属于ADS7841E的输出引脚，所以单片机的相关引脚PINA.4和PINA.3要配置成输入类型。

因为M16内部有1K字节的eeprom存储器，所以每次调节完数据都会将数据存放在eeprom中，即使是关机后断电，下一次开机也会重新载入上一次的设定值，以实现断电记忆功能。程序包可以在《无线电》的网站上下载到。

关于这个电源的操作请先看图7中的照片，液晶在面板的左上角，液晶上显示了5行信息，从上到下分别是设定电压（Volt_set）、设定电流（Curr_set）、实时电压（Voltage）、实时电流（Current）和输出状态（Output）。

设定电压（Volt_set）：当前设置的输出电压值，但并不总是输出电压值，因为在输出关闭状态下实际的输出电压值

为0，在恒流时实际的输出电压也不等于设定电压，而是跟此时的负载有关。

设定电流（Curr_set）：当前设置的最高输出电流值，输出电流小于该值时工作在恒压模式，当输出电流大于设置值时会被限制在设置值，此时工作在恒流模式。

实时电压（Voltage）：当前通过AD转换器测量得到的输出端口的电压值，是真正输出的电压，通常在正常输出的恒压模式时，实时电压和设定电压显示是基本相等的。

实时电流（Current）：当前通过AD转换器测量得到的输出电流值，通常在正常输出的恒流模式时，实时电流和设定电流的显示是基本相等的。

输出状态（Output）：只有两种状态，输出（ON）或禁止输出（OFF），在电源启动以后设置值是最后一次设置的值，输出是禁止的，必须手动按下“输出状态”键开启输出，以避免在没有为负载调整好电压的时候上电而烧毁负载，在禁止输出时可以调整设定电压和设定电流。

液晶下面有4个按键，从左到右分别是“3.3V直接输出”键、“5V直接输出”键、“12V直接输出”键和“输出状态”键。液晶右边的4个按键从左到右第一竖行上面的是“设定电压加”，下面的是“设定电压减”，第二竖行上面的是“设定电流加”，下面的是“设定电流减”。

图7照片中显示的是设定电压为12V，最高输出电流限制为2500mA，实时输出电压为12V，实时输出电流为1214mA，输出状态为正常输出。

动手制作

做电路，那就得先画原理图再画PCB图，自己做的话就得打印、热转印和腐蚀，这些步骤就不写了，因为有很多文章已经有介绍。两块板子的PCB图见图10和图11。

腐蚀好的板子见图12，这是控制板刚腐蚀好的照片，因为电源板做得比控制板早，没有拍照片。黑色的墨粉还粘在上面，右边的框是装液晶显示器的，得先开孔，因为开孔比较费时，所以先不要打磨掉碳粉避免线路氧化。

给PCB开孔使用的是电钻，当然不是钻一圈孔，而是用钻头斜拉，比较慢但开的口比较齐，如图13所示。因为要用钻头斜拉开孔，所以钻头必须选择比较粗的，这里选的是直径1.5mm的，因为钻头太细强度不够容易折断，而钻头太粗的电动机的扭力不够，通过实践1.5mm直径的刚好满足要求。开好孔后用砂纸将毛边打磨圆滑，然后再为液晶显示器开好4个安装孔就可以安装液晶了，如图14所示。

将所有器件装完就可以调试了，安装好的面板背面见图15，正面可以参考图7。因为液晶模块是个单独的小电路板，所以使用导线与控制板相连，被扎起来的那捆导线是和

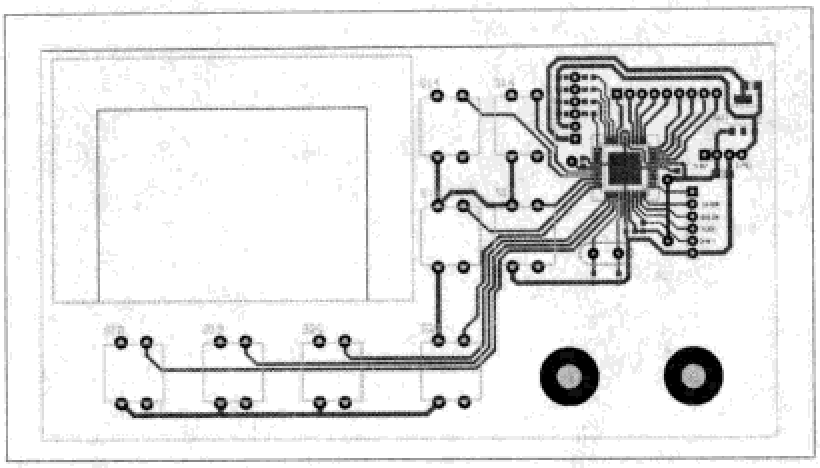


图10 控制板PCB图

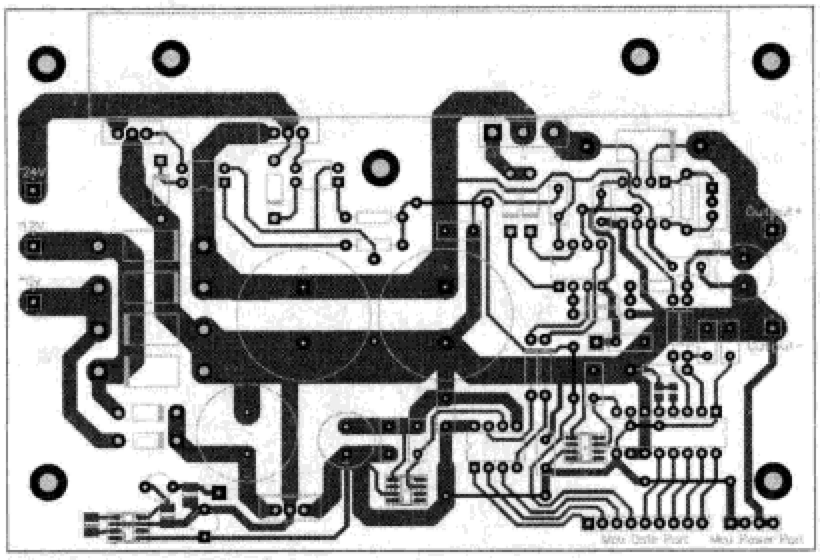


图11 电源板PCB图

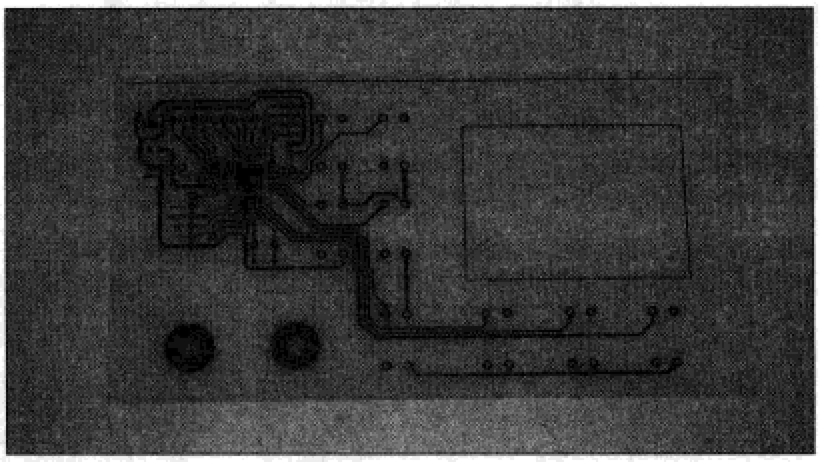


图12 刚腐蚀好的控制板的PCB

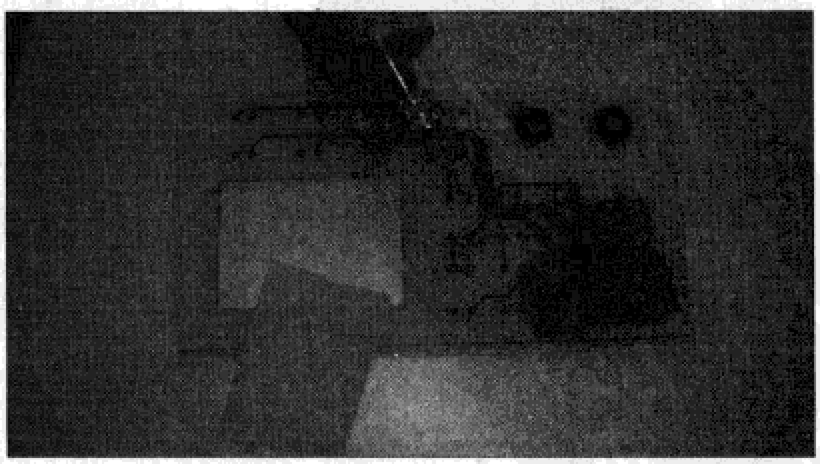


图13 用电钻为PCB开“窗户”

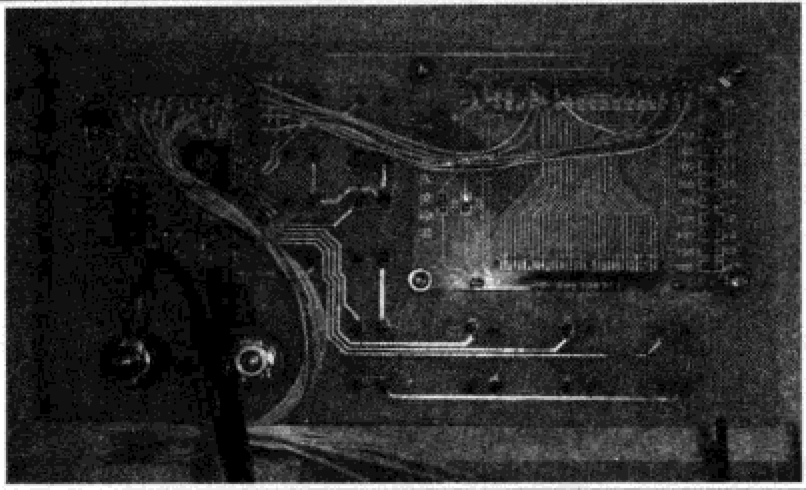


图15 安装好的控制板的背面

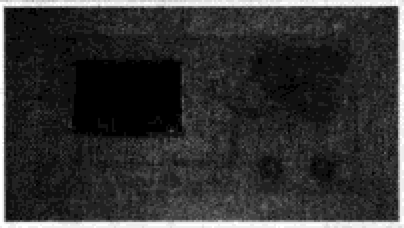


图14 嵌入液晶显示器

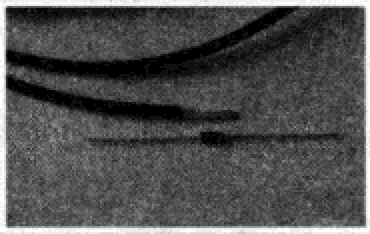


图16 镀银线特写

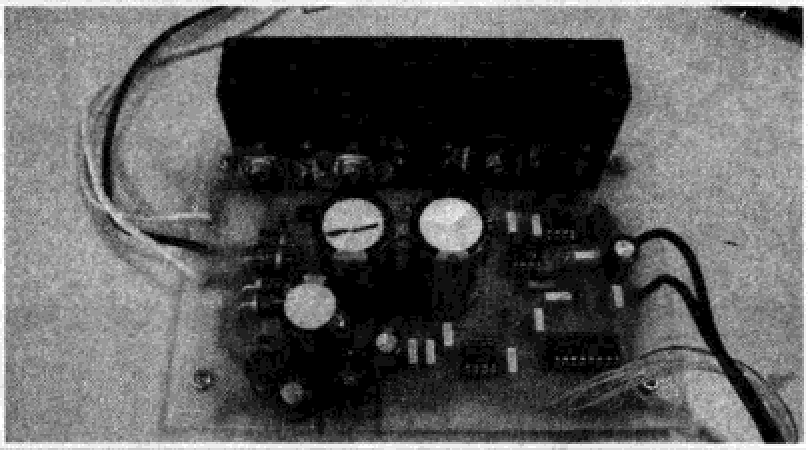


图17 电源板

电源板相连的，其中包括控制线和为控制板供电的电源线，左下方的两根比较粗的黑线是用来接电源板的输出端和控制板的输出接线柱的，为了输出大电流时在这段线上的压降最小，使用了质量比较好的高温多股镀银线，图16是给镀银线的特写，参照物为常用的1N5819二极管。

安装完控制板，下载看看电源板，这才是这个电源真正的核心，对于这个电源板我不想多说，因为再多的描述也比不上一张清晰的图片清楚，所以以图片为主，只是对图片进行了一些辅助的说明。

图17就是这个电源的电源板，电源板上的直插的芯片都是使用了插座安装，以便更换。散热器上固定的3个功率器件从左到右分别是VS1、VS2和VT，其中VS1和VS2是晶闸管，用来切换电压挡位，VT是电源调整管，它们都是要通过较大电流的，所以固定在同一个散热器上。注意要在每个器件底部加上绝缘垫片和套环以防止短路，并且涂上导热硅脂以利于散热，见图18。

电源调整管VT选用IRFP450，它是国际整流器公司生产的大功率场效应管，I_d为14A，导通电阻为0.4Ω，作为电源调整管使用比较合适，图19是安装在板子上的IRFP450。从图上可看出IRFP450和散热器之间也涂有导热硅脂。

用作整流的4只二极管VD1~VD4使用了耐压100V、允许通过电流6A的功率二极管6A10，见图20。

因为电源板的输出电流比较大，所以在主要的电流通路上要用比较宽的铜箔走线并且做滚锡处理，以降低电路板的传导电阻，见图21。因为做滚锡处理要用松香做助焊剂，所以板子上残留了比较多的松香影响美观，有条件用洗板水清

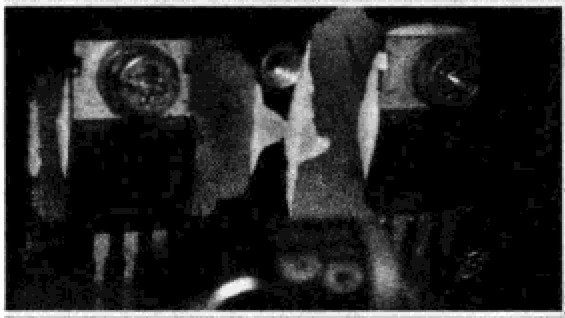


图18 2只晶闸管固定在散热器上

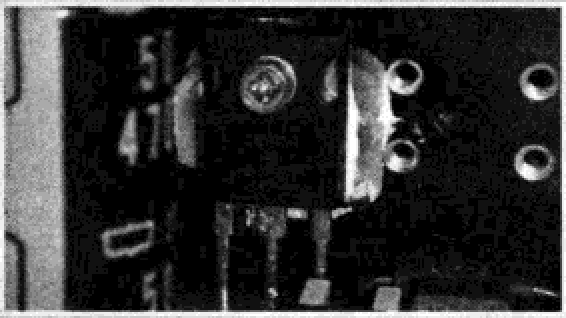


图19 安装在板子上的IRFP450

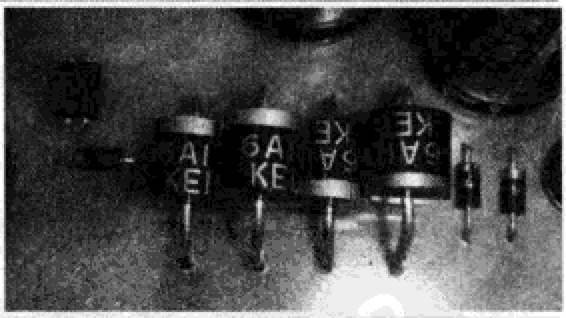


图20 电源整流管

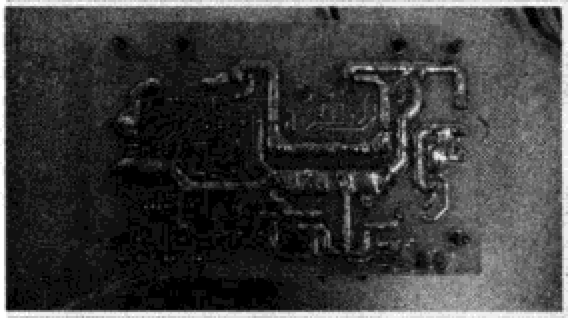


图21 做滚锡处理的电源板的背面

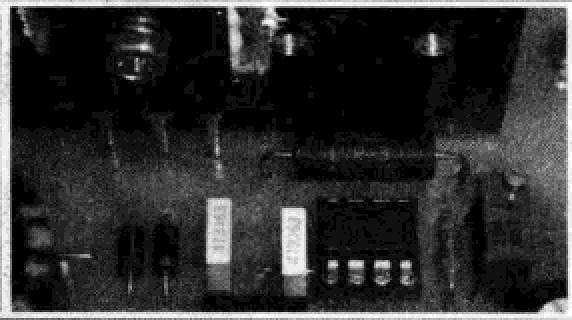


图22 电流取样电路

图23 两只主滤波电容

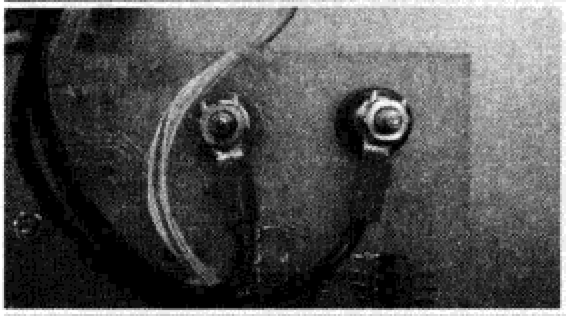


图24 与输出接线柱的连接

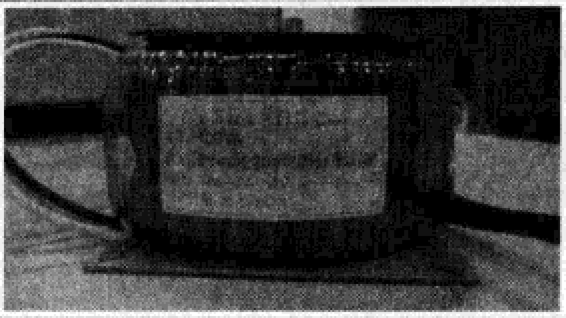


图25 100W环形变压器

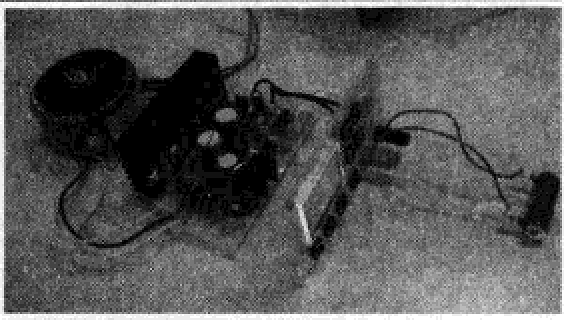


图26 装好后的外观

图27 测试使用的FLUKE 8808A万用表

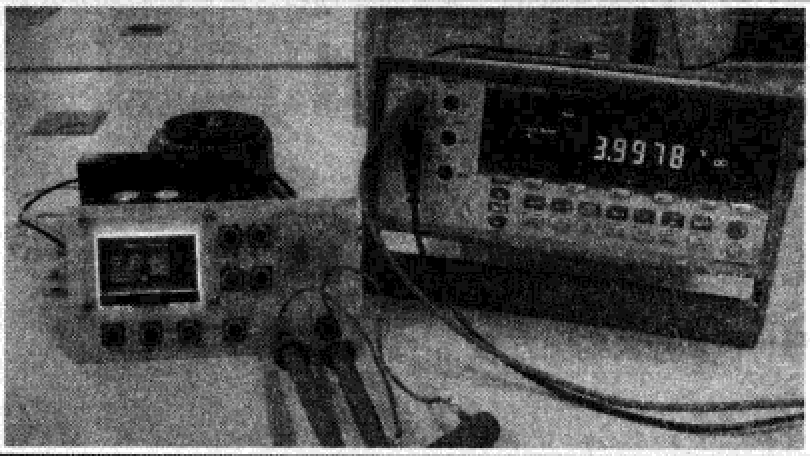


图28 电路测试

洗会好看很多。

电流取样电阻对电流控制以及显示精度影响很大，所以使用DALE的LVR-3型精密低阻值电阻，这个电流取样电路见图22，右边的多圈电位器用来调整电流取样放大器AD620的放大倍数，调试时只需将该多圈电位器和3kΩ的电阻的并联值调节到2.058kΩ即可，这也是整个电路中唯一要调试的地方。

2只主滤波电容的品质关系到整个电路的纹波系数，所以选用了2只4700μF/50V的日产高频低内阻电解电容，见图23。

为了使输出的电压即使是在比较高的输出电流下依然精确，所以与输出接线柱的连接必须可靠，一般不采用焊接的方法，因为接线柱与导线一般都是镀银的，所以用螺丝拧紧要比焊接接触电阻更小、更可靠，见图24。

对于电源，变压器是它的“发动机”，所以选择一只质量上乘的变压器也是至关重要的，因为现在的很多变压器的绕组使用铝线而不是铜线，铝的电阻率比铜要大，所以更容易发热，效率更低，在选变压器时不妨带上万用表，测相同功率和电压的绕组电阻，电阻越小越好，该电源中使用的100W的环形变压器的输出绕组的电阻仅为0.6Ω左右。还有一个办法是掂重量，因为铜比铝密度大所以更重，因此在同体积下选择质量较重的会比较好。变压器的特写见图25。

该注意的地方前面也都说了，下面看看安装好以后的样子，如图26所示。为了更加实用还是找个外壳吧，然而这是最难办的，直到现在还在寻觅中。

电路测试

图26中右边是1只10Ω20W的功率电阻，做负载测试用的，在最高输出电压下即20V的输出下，在10Ω电阻上的消耗功率为40W，所以只能短时间测试，如果电压高于14V这个电阻就过载了，但手头又没有更大功率的电阻，暂时先用这个吧。图27是测试使用的万用表FLUKE 8808A，附表为输出电压的实测数据，看看性能如何！

附表 电源输出电压实测数据

设置值	实测值
0V	0.002V
1V	1.000V
2V	2.002V
3V	3.000V
4V	3.998V
5V	4.996V
6V	5.996V
7V	7.001V
8V	7.996V
9V	9.003V
10V	10.001V
11V	11.005V
12V	11.997V
13V	13.003V
14V	13.998V
15V	15.002V
16V	16.003V
17V	17.003V
18V	18.005V
19V	18.998V
20V	19.996V

输出设为4V时的测试照片见图28，从测试照片来看这个电源还是不错的吧？要是心动了就赶紧行动吧！如果有好的意见或建议欢迎发邮件交流：kunnnsd@126.com。

玩转电能表 体验智能化 3

◎吴汉清

自制预付费电能表

在笔者居住的小区里经常看到居民从窗户“空降”电线，给楼下的电动自行车充电，他们为什么不到公用车库去充电呢？经了解公用车库的管理者对电动自行车充电有的按次收费，每次1元到1.5元，有的是按月收费，每月30元左右。有些居民感觉收费不合理就自己想办法充电了，于是出现了文章开头所说的景象。由此笔者就想：如果能在车库里给每个电动车用户安装一个预付费的电源插座就好了，先交钱后用电，用多用少自己心里有数。经反复思考，只需给电能表增加预付费功能即可满足要求。

预付费功能的实现方法

大家知道供电局给用户安装的预付费电能表一般采用的是IC卡，用户持IC卡到供电部门交款购电，供电部门用售电管理机将购电量写入IC卡中，用户将IC卡在电能表上刷一下就能将上面的电量输入到电能表中。当IC卡购买的电量用完时，电能表自动停止供电。

业余条件下使用IC卡制作预付费电能表不太方便，我就使用了红外通信的方式，管理者根据用户所交的费用用一只红外遥控器发射加密的信号直接对电能表进行电量设置，红外遥控器每发射一次密码电能表电量就加1，等达到预置电量后松开按钮即可，这和加油站加油的操作方式类似。

红外遥控器

红外遥控器的电路见图1，由一个PIC单片机PIC12F629（以下简称F629）最小系统加红外发射二极管组成，发射按钮兼作电源开关。

常用的红外编码方式有两种：PWM（脉冲宽度调制）和PPM（脉冲位置调制）。这里使用PWM方式，因为使用距离近，不使用调制到38kHz载波发射的方式，即直接发射PWM脉冲信号。这样红外发射电路和电能表的红外接收电路都可以简化，而且和普通遥控器不兼容，增强了安全性。笔者用家里具有学习功能的遥控器和遥控电源开关进行学习，均没有学习成功，因为这些装置的电路中都含有38kHz载波解调电路，低频脉冲信号通不过。

由于采用电池供电，使用过程中电压变化比较大，为了提高输出脉冲信号的稳定性，F629使用了外部晶体振荡器提供时钟信号。

发射数据格式包括引导码和密码数据两部分，以发射红外脉冲信号的占空比代表“0”和“1”。这里规定：引导码为发射9ms，关断4.5ms，周期13.5 ms，数据“0”为发射0.56ms，关断0.56ms，周期1.12 ms，数据“1”为发射0.56ms，关断1.68ms，周期2.24ms。

F629的GP0端输出高电平时红外发射二极管VD发射红外线，用程序对输出电平进行控制即可发出设定的密码脉冲信号。

按下按钮S后VD发射的红外脉冲信号见图2，图2脉冲信号对应的密码为1101100001100100，即0xd864。

程序设计

红外遥控器程序用PICC C语言编写，由主程序和0.56ms定时器T0服务子程序等组成，主程序分初始化和发送密码脉冲信号两部分，发送脉冲信号时先发送引导码信号，再依次从高位到低位发送16位密码信号。只要按住S不松开，红外发射二极管就会重复

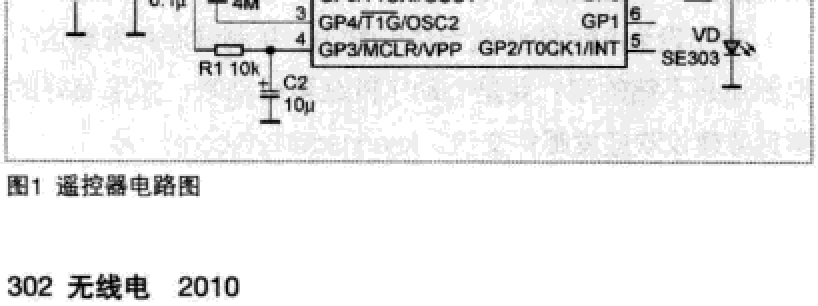


图1 遥控器电路图

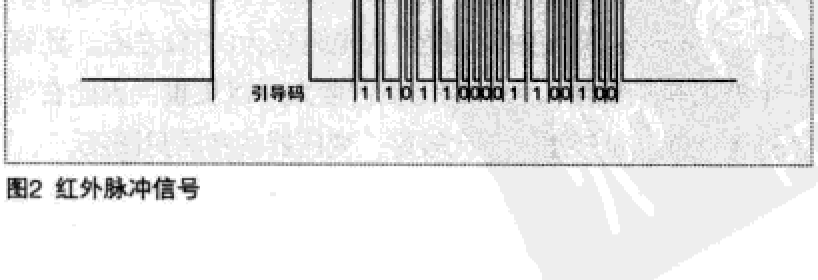


图2 红外脉冲信号

程序1 发送密码脉冲信号的循环

```
while(1)
{
    n=0;
    GPIO0=0;
    while(n<179);  //两帧脉冲信号间隔100ms
    GPIO0=1;  //发送引导码
    n=0;
    while(n<17); // GP0输出高电平9ms
    GPIO0=0;
    while(n<25); // GP0输出低电平4.5ms
    code=0xd864; //密码
    for(i=1;i<17; i++)
    {
        n=0;
        if(code&0x8000)  //密码第i位为1，发送“1”
        {
            GPIO0=1;
            while(n==0); // GP0输出高电平0.56ms
            GPIO0=0;
            while(n<4);  // GP0输低高电平1.68ms
            if(i==16)  //第16位，补一个上升沿
            {
                GPIO0=1;
                while(n==4);
                GPIO0=0;
            }
        }
        else  //密码第i位为0，发送“0”
        {
            GPIO0=1;
            while(n==0); // GP0输出高电平0.56ms
            GPIO0=0;
            while(n==1); // GP0输出低电平0.56ms
            if(i==16)  //第16位，补一个上升沿
            {
                GPIO0=1;
                while(n==2);
                GPIO0=0;
            }
        }
        code=code<<1;  //密码左移一位
    }
}
```

发射红外脉冲信号，电能表每接收到一次密码电量就会加1，按住S 每秒约增加7kWh的电量。

发送密码脉冲信号的循环程序见程序1，其中变量n是计时变量，定时器T0中断服务子程序每中断一次n就加1，所以计时时间为（0.56n）ms，用来对GP0输出脉冲宽度进行控制。

预付费电能表

预付费电能表电路见图3。

上期介绍的限电器是限制用电功率，本期介绍的预付费电能表是控制用电量，所以它们的电路结构基本一样，都是要用继电器来控制用户用电，后者只是在限电器的电路上增加了红外接收电路。

红外接收电路由红外接收二极管VD6、电阻R14、R15、电容C8、三极管VT2等组成，VT2用ATmega8L PB0（ICP1）端的上拉电阻作负载。当VD2没有红外脉冲信号输出时，VT2的集电极电压约为0.8V，可以认为PB0（ICP1）端为低电平。当红外遥控器发射脉冲信号时，由VD6接收的红外信号经VT2放大整形后向PB0（ICP1）端输入脉冲信号，脉冲信号的相位和遥控器输出的脉冲信号完全一样。

脉冲信号输入到单片机后，先进行解码，得到数字“0”或数字“1”信号，接收完16位数后再和单片机内保存的密码进行比较，一致时用电量加1，否则作干扰信号处理。这样通过遥控器就可以预置用电量了，电能表显示的数据是剩余电量。

发光二极管VD4在这里作报警用，当电能表显示的用电量不小于5kWh时VD4不点亮，当用电量小于5kWh时VD4以每秒1次的频率闪烁，通知用户续费。如果不续费预置电量，则当电能表显示为0时将自动断电。

本期将电量显示方式改为显示三位整数和一位小数，方便用户观察用

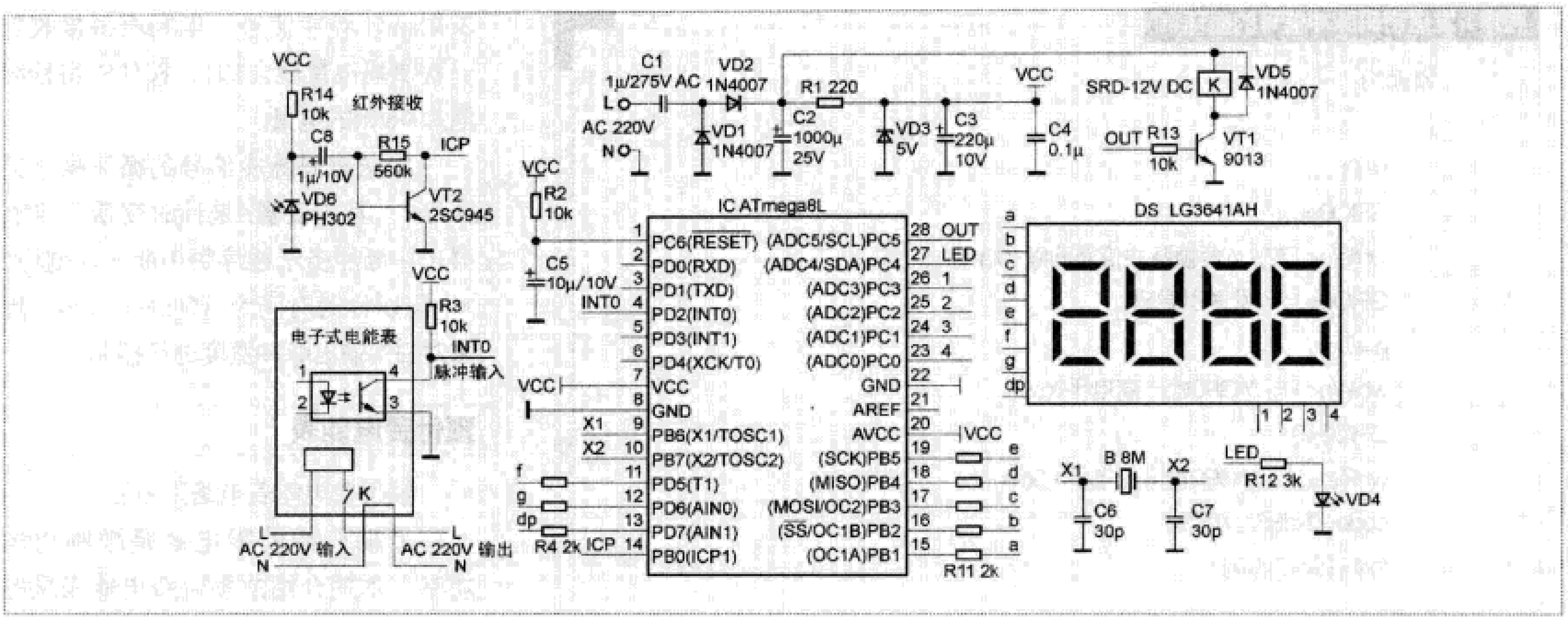


图3 预付费电能表电路原理图

电量的变化。最大购电量为999kWh。

程序设计

程序除了根据功能要求对上期的限电器程序作了修改外，还增加了红外接收解码子程序和延时子程序，这里主要介绍一下红外接收解码程序，见程序2，其余程序见《无线电》杂志网站提供下载的源程序。

红外接收解码子程序实际上就是定时器T1输入捕捉中断服务子程序，通过检测输入脉冲信号的周期来确定输入脉冲信号的编码。具体是通过ATmega8L的定时器T1的捕获功能实现，引脚ICP1上的电平变化会触发一次捕获，通过比较两次捕获的时间，来测量脉冲信号周期，从而判断发射码。

当接收完一组密码后，标志位Flag置1，主程序对接收数据data和密码code进行比较，当两者相等时说明密码正确，用电量加1。

表1 红外遥控器所用元器件

序号	元器件名称	符号	型号规格	数量
1	电容器	C1	0.1μF	1
2	电解电容器	C2	10μF	1
3	电阻器	R1	1/4W 10kΩ	1
4	电阻器	R2	1/4W 10Ω	1
5	红外发射二极管	VD	SE303	1
6	石英晶体	B	4MHz	1
7	单片机	IC	PIC12F629	1
8	轻触按钮	S		1
9	集成电路插座		DIP8	1
10	万用电路板		20mm×50mm	1

图4 遥控器

表2 PIC12F629配置位设置

配置位	FOSC2	FOSC1	FOSC0	WTDEN	PWRTE
设置	0	0	1	0	1
配置位	MCLRE	BODEN	CP	CPD	
设置	1	0	1	1	

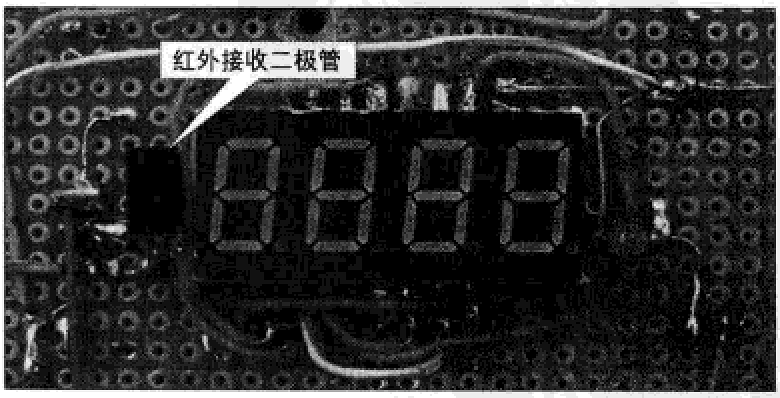


图5 红外接收管安装位置

表3 红外接收电路所用元器件

序号	元器件名称	符号	型号规格	数量
1	电解电容器	C8	10μF10V	1
3	电阻器	R14	1/4W 10kΩ	1
4	电阻器	R15	1/4W 560kΩ	1
5	红外接收二极管	VD6	PH302	1
6	三极管	VT2	2SC945	1

程序2 定时器T1输入捕捉中断服务子程序

```
#pragma interrupt_handler timer1_capt_isr:6
void timer1_capt_isr(void)
{
    uint time=0;
    uint temp=0;
    newTime=ICR1L;                                    // 读取当前时间
    newTime|=(uint)ICR1H << 8;
    TIFR|=(1<<ICF1);                                  //软件写1清中断标志
    if(newTime>oldTime) time=newTime-oldTime; //计算脉冲周期
    else time=newTime+0xffff-oldTime;                //定时周期有交叉的情况
    oldTime=newTime;                                  //存放新时间
    //引导码对应的计数值为13.5*1000/(0.125*64)=1687.5 判断范围：±10%
    if((time>1519)&&(time<1856))                      //引导码
    {
        bitcnt=0;
        data=0;
        return; //返回，等待接收数据
    }
    // “0”对应的计数值为1.12*1000/(0.125*64)=140, 判断范围：±10%
    else if((time>126)&&(time<154))
    temp=0; // "0"脉冲信号
    // “1”对应的计数值为2.24*1000/(0.125*64)=280, 判断范围：±10%
    else if((time>252)&&(time<308))
    temp=1; // “1”脉冲信号
    else   //干扰信号
    {
        bitcnt=0;
        data=0;
        return;
    }
    bitcnt++;
    //接收16位数
    if(bitcnt<16)
    {
        data=data|temp;
        data=data<<1;
    }
    else if(bitcnt==16)
    {
        data=data|temp;
        Flag=1;     //接收完一帧，标志位置1
    }
}
```

图6 安装好的电能表

制作与使用

红外遥控器使用的元器件见表1。

安装遥控器时先将目标文件remote.hex写入PIC12F629，烧写时配置位设置见表2。

表中CP和CPD分别代码保护位和数据代码保护位，你如果需要加密，相应的值就设置为0。

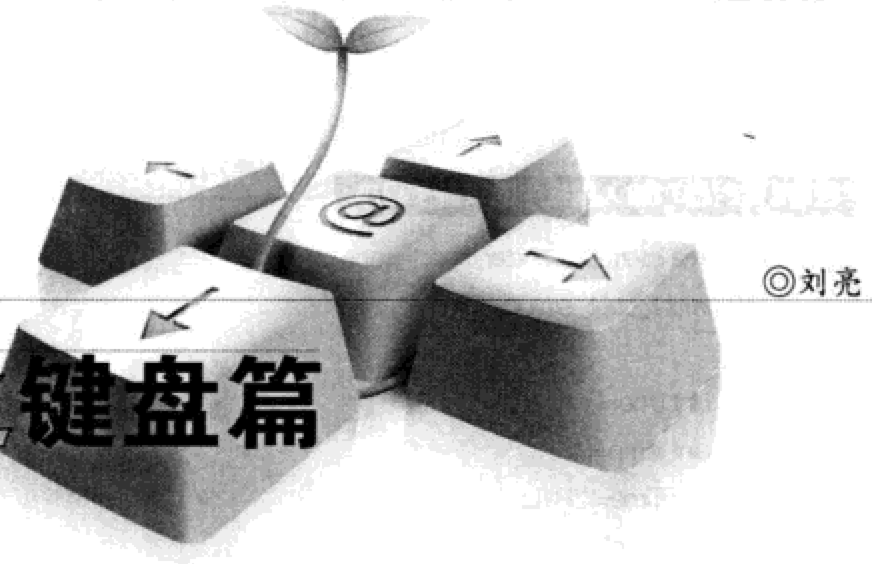
安装好的红外遥控器见图4。

电能表增加的红外接收电路使用的元器件见表3。

安装红外接收电路时将红外接收二极管装在电路板上数码管左侧，接收面朝外，见图5。其余元器件安装在电路板的正面。安装时注意红外接收二极管的极性。将目标文件zndb3.hex写入ATmega8L。

安装好电能表后，用红外遥控器的对准电能表的红外接收二极管发射信号，两者距离要小于5cm，如果数码管显示数值不断增加说明电路工作正常了。电能表正常工作状态见图6，图中数码管显示剩余电量为79.3kWh。

管理者平时要保管好自己的遥控器，如果认为16位二进制数密码不够，可以修改程序增加密码位数。



摆脱束缚 让无线走进生活之键盘篇

◎刘亮

前一期的无线鼠标，不知大家做成功了没有，今天向大家介绍一款“山寨”的无线键盘，有兴趣的读者朋友可以继续进行尝试。当然，这款无线键盘仍然使用2.4G的无线模块进行数据传输，并且笔者特地改用TI公司出品的CC2500模块，以方便大家对多种无线模块的选择。

为了方便大家理解我的意图，我用一个简单的图解释一下，见图1。

在这里简单解释一下我设计这款无线键盘的思路：

1. 我们用的普通PS2键盘是以数据包的形式发送我们对键盘进行的动作的，每个包的大小为8字节（注意：鼠标的数据包为4字节），数据包的发送速度并不是很快，因此，我们可以用单片机对键盘数据包进行截取，并进行处理。

2. CC2500无线模块的速率是250Kbit/s，这个速度传输键盘的数据包已足够，我们可以把截取到的数据包稍加处理成为USB键盘格式的数据包，通过无线方式发送出去，这样，接收端可以利用另一个模块接收到数据。

3. 在接收端使用CC2500接收数据前，把设备初始化成电脑可以识别的一个键盘，发送至电脑的数据包来自于接收到的数据包，这样，通过无线的方式将键盘数据收、发两端

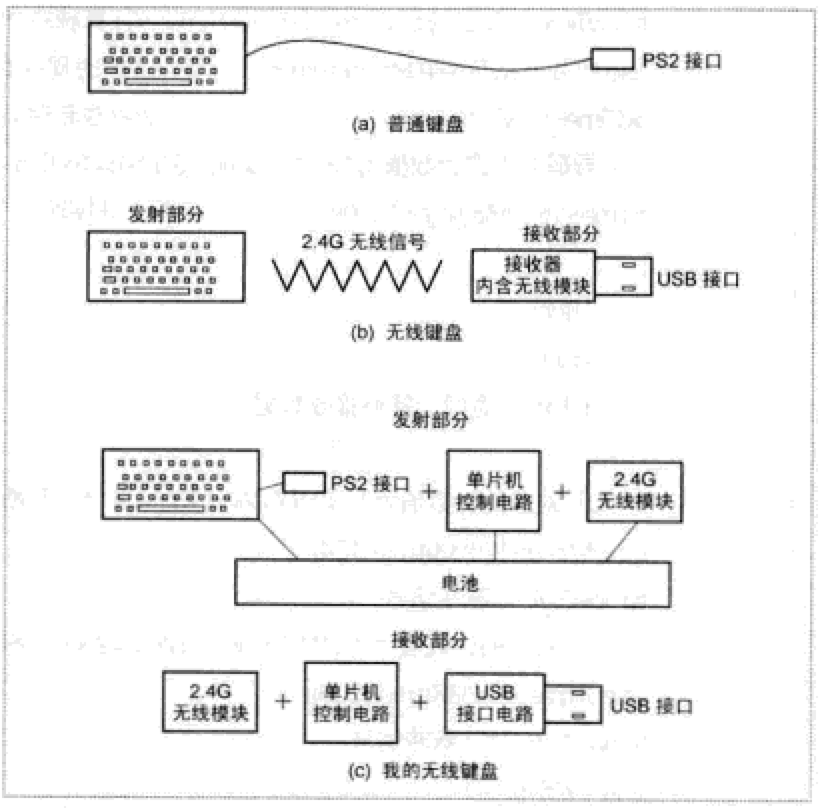


图1 各种键盘的结构

准备元器件

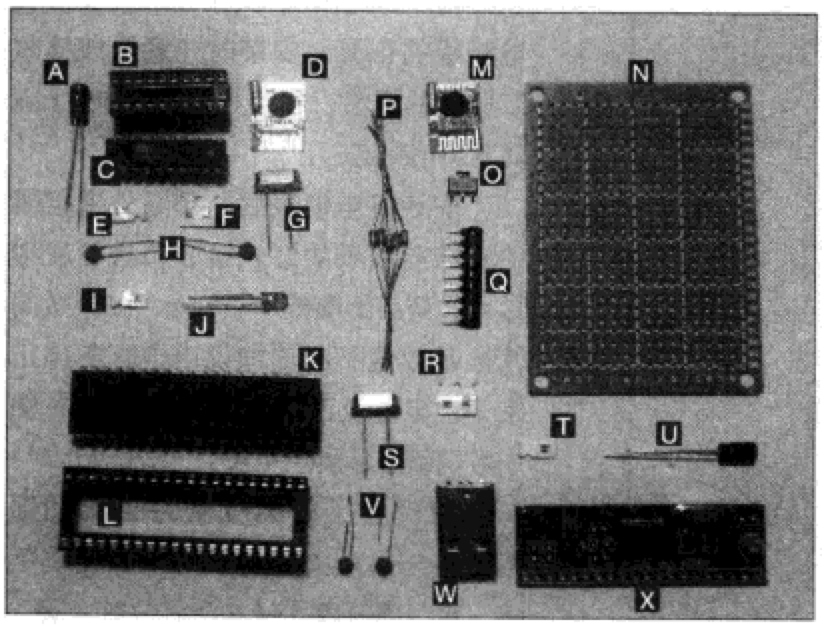


图2 元器件全家福

附表 元器件清单

序号	名称	数量	说明
A	10μF电解电容	1	与E组成AT89C2051的复位电路
B	DIP20脚插座	1	AT89C2051的插座
C	AT89C2051	1	
D	CC2500无线模块	1	发射部分的2.4G模块
E	10kΩ贴片电阻	1	
F	10kΩ贴片电阻	2	AT89C2051的上拉
G	22.1184MHz晶体	1	AT89C2051的外部晶体
H	30pF瓷片电容	2	AT89C2051的起振电容
I	1kΩ贴片电阻	1	LED的限流电阻
J	LED	1	发射部分的指示
K	AT89S52	1	
L	DIP40脚插座	1	AT89S52的插座
M	CC2500无线模块	1	接收部分的2.4G模块
N	万用板	2	发射、接收各一块
O	AMS1117 3.3V	1	CC2500的电源芯片，提供3.3V
P	560Ω限流电阻	5	CC2500的IO限流电阻
Q	10kΩ排阻	1	AT89S52的P2口上拉排阻
R	1MΩ贴片电阻	1	USB 数据总线的上、下拉电阻（可省略）
S	22.1184MHz晶体	1	AT89S52的外部晶体
T	10kΩ贴片电阻	1	与U组成AT89S52的复位电路
U	10μF电解电容	1	
V	30pF瓷片电容	2	AT89S52的起振电容
W	USB公头	1	
X	USB小模块	1	提供USB接口电路

紧密地联系了起来，形同“有线”。

大家等不及了吧？下面就详细说说改造的过程。

焊接及安装

1. 发射部分

拧开一大堆螺丝后，终于看到了键盘的内部构造，别看键盘挺大，但是能放东西的地方就边沿细长的几条，所以控制部分的电路只能尽可能小一点，或者说细长一点。原本还想用AT89S52的，现在只能放弃了。和鼠标一样，选用了AT89C2051单片机，这个单片机的好处在于体积小，而且工作电压宽，在2.7~5.5V的电压范围均可工作，与CC2500无线模块接口不需要额外的转换电路。

为了尽可能地减小体积，发射部分的电阻都采用贴片的封装，可能对一些习惯直插元器件的朋友带来了一定的困难，具体焊接方法可以参见前一期无线鼠标的文章。

这次使用的CC2500无线模块是美国TI的产品，它的特点如下：

频率范围：2400～2483.5MHz；

可编程控制的数据传输率，可达500Kbit/s；

可编程输出功率，最高可达1dBm；

OOK和灵活的ASK整型支持，提供2-FSK 和 MSK支持；

支持每个数据包连接质量指示；

供电电压为1.8～3.6V；

4线SPI接口，单独的 64 字节 RX和 TX数据 FIFO。

根据CC2500的供电特点，可使用锂电池进行供电，但供电电压不能超过3.7V。它的引脚排列见图4。

因为无线模块都采取片状封装，体积比较小，引脚排列一般都比较紧密，从图上的标注可以看出，两个焊点间距仅为DIP引脚间距的一半左右，焊接起来要很小心。推荐使用尖头电烙铁，连接线可以使用单芯塑料皮的细铜线，也可使用稍有硬度的漆包线，使无线模块不至于频繁抖动，够长即可，焊接完毕后不要频繁晃动连接线，防止模块引脚损坏。

这次的发射电路有老面孔——AT89C2051，也有新面孔——CC2500，两位结合起来也丝毫不差，而且体积也更小。为了对比一下发射部分与键盘的大小差异，笔者又跟拍了另一幅图片，见图6。

从图中可以看得出来，键盘的空间确实不是很大，发射部分只能“蜷缩”在缝隙里，但是不管怎么说，还是顺利地住进去了。

发射部分与键盘的4条连线分别为VCC、DATA、CLK和GND，部分键盘直接标明了C和D，代表CLK与DATA，另一部分键盘则只能使用万用表检测，检测方法如下：

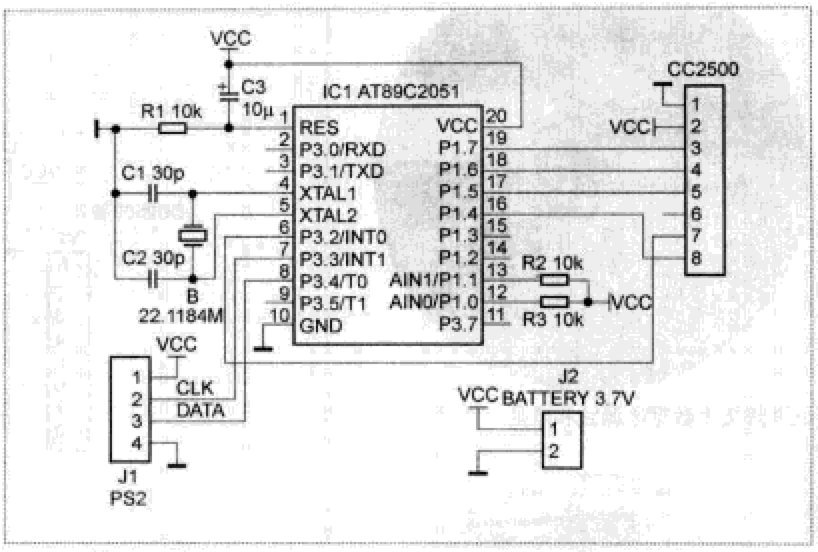


图3 发射部分电路图

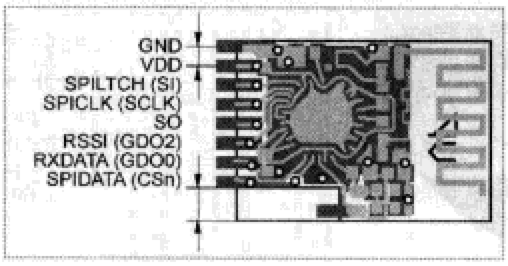


图4 CC2500无线发射模块

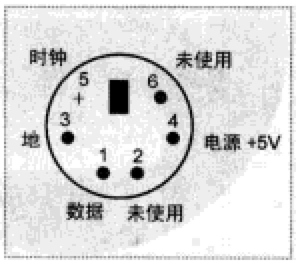


图7 键盘接口示意图

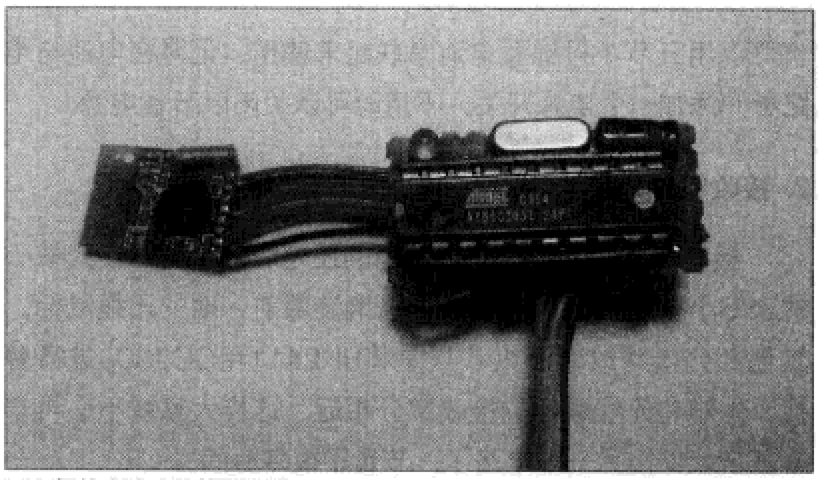


图5 焊接完成后的控制电路

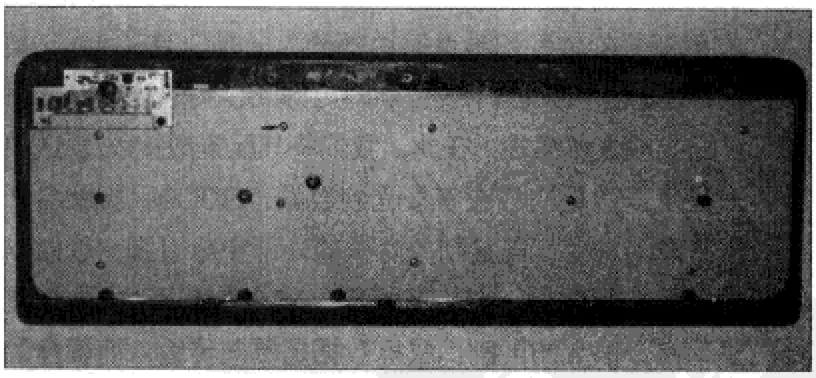


图6 放进去正好

使用万用表通断挡，根据图7所示接口示意图检测出4条连线的连接位置。

为了方便制作，本发射部分采用手机锂电池供电，当然，

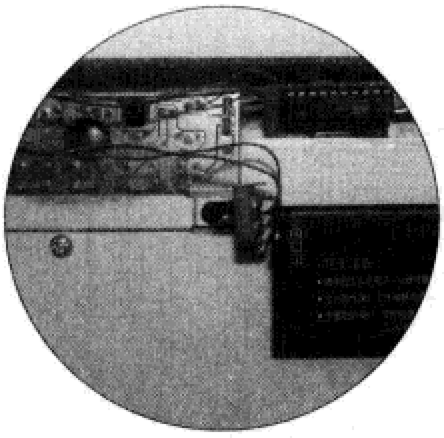


图8 焊接上数据电源线和电池

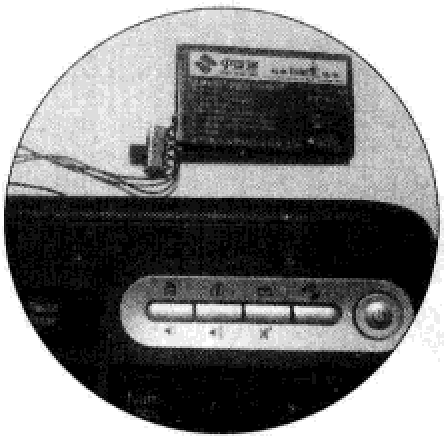


图9 合上键盘底盖，发射部分就完成了

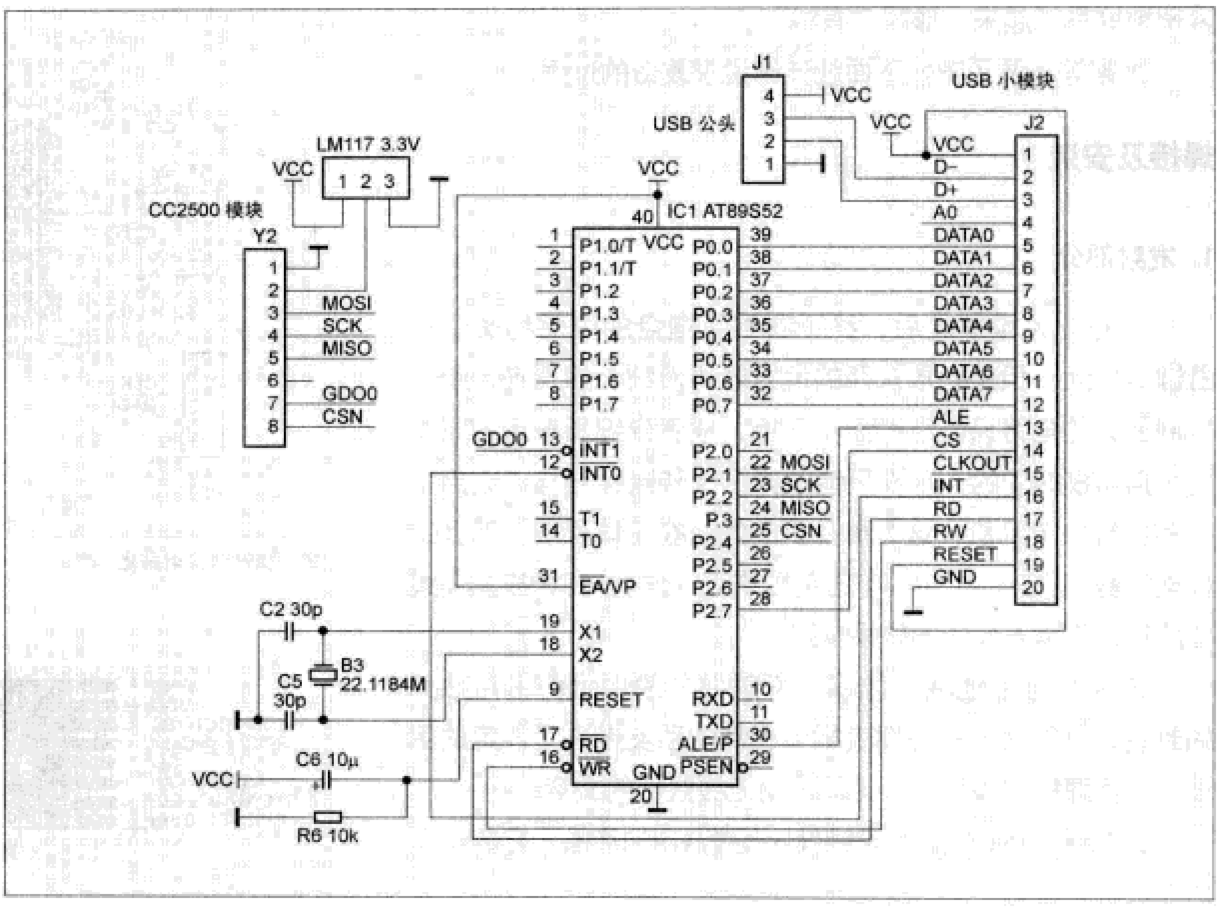


图10 接收部分电路图

也可以用三节 7 号镍氢电池串联起来使用。记得在电池与电路板间添加一个电源开关，不用时可以关闭以节省电源。

2. 接收部分

接收部分电路见图10，使用的还是以PDIUSBD12为核心的USB小模块，小模块详细电路请参照前一期的无线鼠标。其他部分电路改动不大，只是将BK2411用CC2500进行替换，外观与无线鼠标的接收部分相近。这样大家就不必再辛辛苦苦地焊接另一个电路了，节省了很多时间。

软件编写

发射部分的软件的难点有两部分，一是CC2500，二是PS2驱动的处理。CC2500要注意对 引脚GDO0的配置，该引脚可以配置成很多模式，在此，我们将其配置成接收/发送中断，一旦发送数据完成或者接受到数据，GDO0引脚就会产生一个下降沿跳变，连接到单片机的外部中断引脚，就能以中断的方式接收数据，提高了效率。PS2键盘驱动方面与鼠标的驱动有个很大的区别：鼠标数据是单向传输，而键盘的数据是双向传输的，下面我用图11进行说明。

图11（a）表示Num、Caps、Scroll三个特殊的按键与LED指示灯相关，因此，处理起来也稍微麻烦一点：发射部分将3个按键的键值发送给接收部分并传送至PC，PC接收后返回控制LED指令给接收部分，接收部分发送至发射部分并控制对应的LED指示灯。

图11（b）表示其他的按键都是一个由发射部分发送给接收部分并传送至PC的单向传输过程，与图11（c）鼠标的数据传送过程一致。

根据这个特点，发送部分平时处于接收模式，等待接收部分的控制LED信号，需要发送时切换至发送模式，接收部分一般也处于接收模式，在遇到Num、Caps、Scroll三个和LED灯有关的按键时切换到发送模式发送控制数据，这样

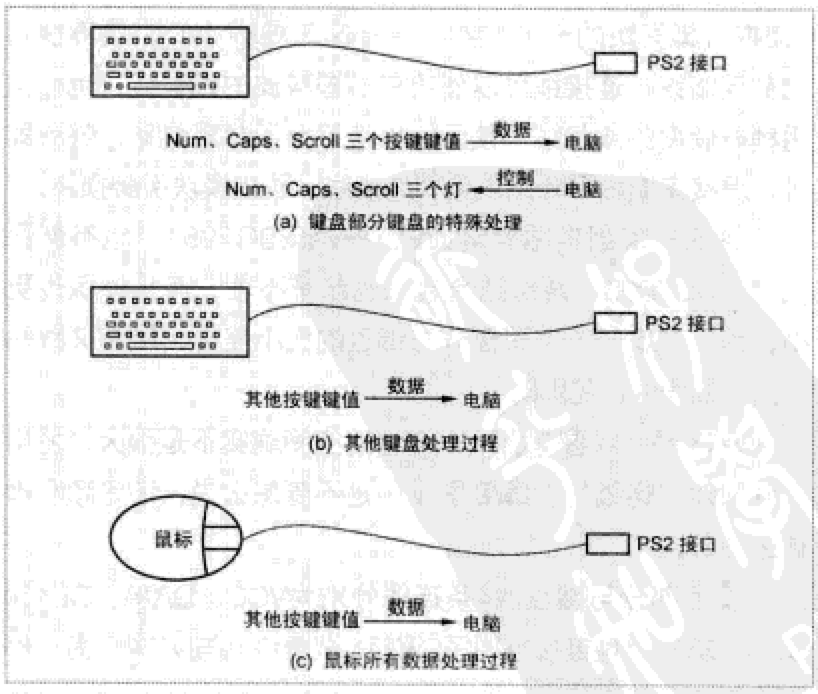


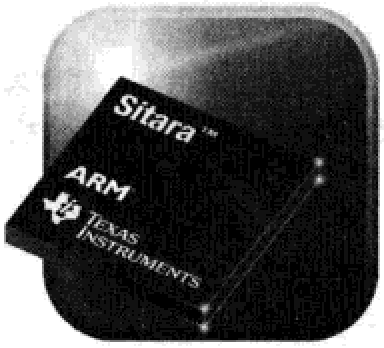
图11 无线鼠标与键盘传输的区别

Microchip推出超低接收电流的MRF89XA收发器系列

Microchip推出3 mA超低接收电流的新型MRF89XA收发器系列。该器件设计用于延长868MHz、915MHz和950 MHz等无线网络中电池的使用寿命。MRF89XA收发器和模块集成了一个用于长距离传输的12.5 dBm功率放大器以及一个-113 dBm用于增强接收灵敏度的低噪声放大器，同时还集成了64字节FIFO的包处理程序，以实现发送和接收缓冲。它可以广泛应用远程抄表、家庭/建筑/工业自动化和玩具制造等。

登录Microchip官方网站：http://www.microchip.com可申请免费样品

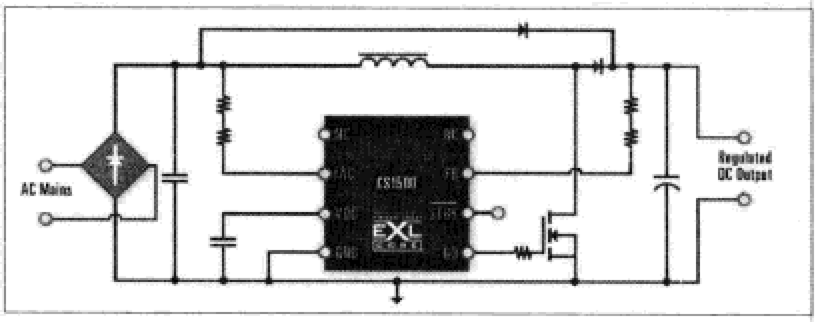
德州仪器推出Sitara微处理器单元AM37x



德州仪器近日发布了Sitara AM37x系列嵌入式处理器，采用45nm工艺和Arm Cortex-A8架构，频率最高可达1GHz。该系列有800MHz和1GHz两种主频，搭配Neon协处理器。AM37x系列将L1缓存容量翻倍到64KB，官网介绍图形性能提升达到100%，功耗下降30%。

Cirrus Logic 公司推出首批数字PFC控制器

Cirrus Logic 公司推出行业首批数字功率因数校正（PFC）控制器 IC－CS1500 和 CS1600。该控制器是数字控制的具有不连续导通模式（DCM）的有源功率因数校正 IC，主要应用于额定功率高达300 W的电源。相比传统模拟 PFC 产品，CS1500 和 CS1600 可使消费电子产品电源和照明镇流系统设计具有更高的性能和更简化的设计。



才能协调一致地进行工作。部分读者可能对PS2键盘数据码如何转化为USB的数据码感兴趣，在代码中，我附上处理代码，以及相关资料，方便大家对照。

接收部分的无线模块的使用方法与发送部分基本相同，重点在于USB接口部分，由于USB部分的代码比较长，大家可以根据需要进行选看。

调试

发射部分，由于硬件电路几乎相同，所以主要还是在软件上作了点文章。在发射部分的电路板上有个LED，在这里，我通过代码简单解释一下：

```
outLED=0;//LED熄灭
PS2_Init();
outLED=0;//LED重新亮起
Init_CCxx00();
Set_CCxx00Rxd();
outLED=0;//LED关闭
```

看了这个代码就可以很容易地明白，LED其实是起了一个状态指示的作用，LED亮灭也直接反映了代码进入了哪个循环，从而判断问题所在。

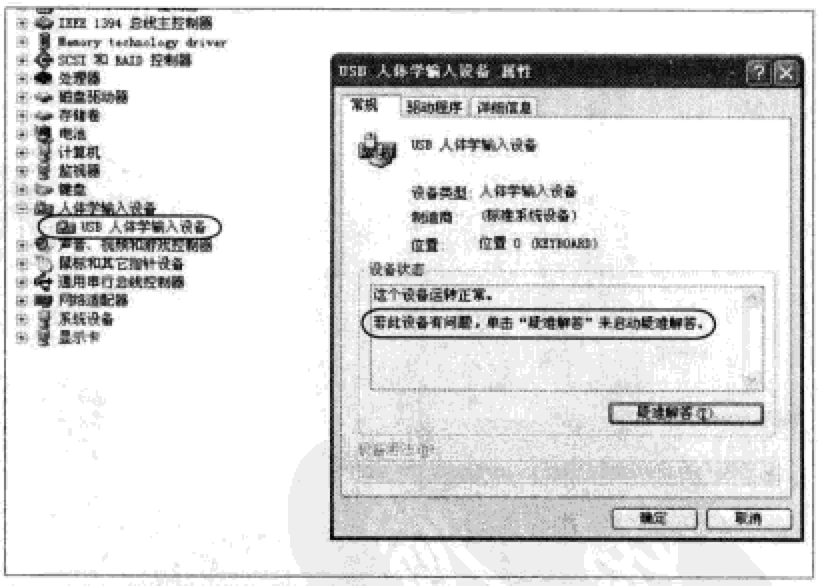


图12 插入接收端后识别出的设备

正常情况下，电脑插入接收部分后，可在设备管理器中查看，正常情况应如图12所示（注意圈起来的部分）。

如果两者均正常，不妨打开一个文本，敲击一下你的按键，看看实际效果怎么样，如果可以使用的话，那恭喜你，成功了。试着玩玩游戏，体验一下无线键盘的魅力。

电机进阶4——全自动绕线机器人

讲了这么多电机，相信大家已经对电机有了一个初步认识了，不过要是光说不练有点纸上谈兵之嫌，在这一篇中我就向大家展示一个全自动的绕线机器人。

◎李文卿

请看图1，我说要展示一个机器人，不过看到的却是这幅模样，让你大跌眼镜了吧？不禁要感叹，这年月写文章也炒作，呵呵。写了这么长时间的文章，这一篇是我最喜欢的，因为我和大家一样喜欢动手，喜欢实践。事先声明这个东西不是一个玩具，是用来给变压器绕线圈的，而且是自动绕线、拨线、计数和记满停止，这样一个能完全代替手工劳动的设备，为什么不能叫它机器人呢？

我们知道在开关电源的设计中最麻烦的部分就是变压器实验，变压器的磁芯、线圈、线粗、匝数、气隙等参数都要经过实验才能确定。这就决定了开关电源的开发难度大、周期长，也是为什么电源开发工程师都需要有好多年工作经验。做变压器实验的线圈都是手工绕制的，如果实验比较多，并不轻松，一是这份工作比较枯燥，二是如果有事或是被打扰中断了，你可能就会忘记绕了多少圈，忘的是个位数的话是个失误，忘的是百位或是千位的话那就是一个悲剧。

我做的这个绕线机是专门为变压器绕线圈的，从图1中可以看到线圈被固定在减速电机上，随着电机转动就开始绕线。左边的那个带丝杠的小电机是我在光驱里拆出来的一个步进电机，漆包线放在它的丝槽里，随着步进电机的转动可以左右移动使绕线均匀。右边控制板上的键盘可以输入绕线的速度、拨线范围、匝数、拨线速度。数码管可以显示设置的参数和绕线匝数。减速电机转轴的连接处还横向伸出了一个铁片随电机一起转动，铁片一端经过槽型光耦时检测电路就会产生一个触发信号，单片机在接收到信号之后就计数一次。当达到设定的匝数时电机就停止转动，绕线完成。

怎么样，有点意思吧，想不想也有这样一个绕线机？不光可以制作变压器，还可以把现有的变压器改成任意你想要的匝数。想要的话就开始吧，绝对的一手资料，不买《无线电》的，我不告诉他。

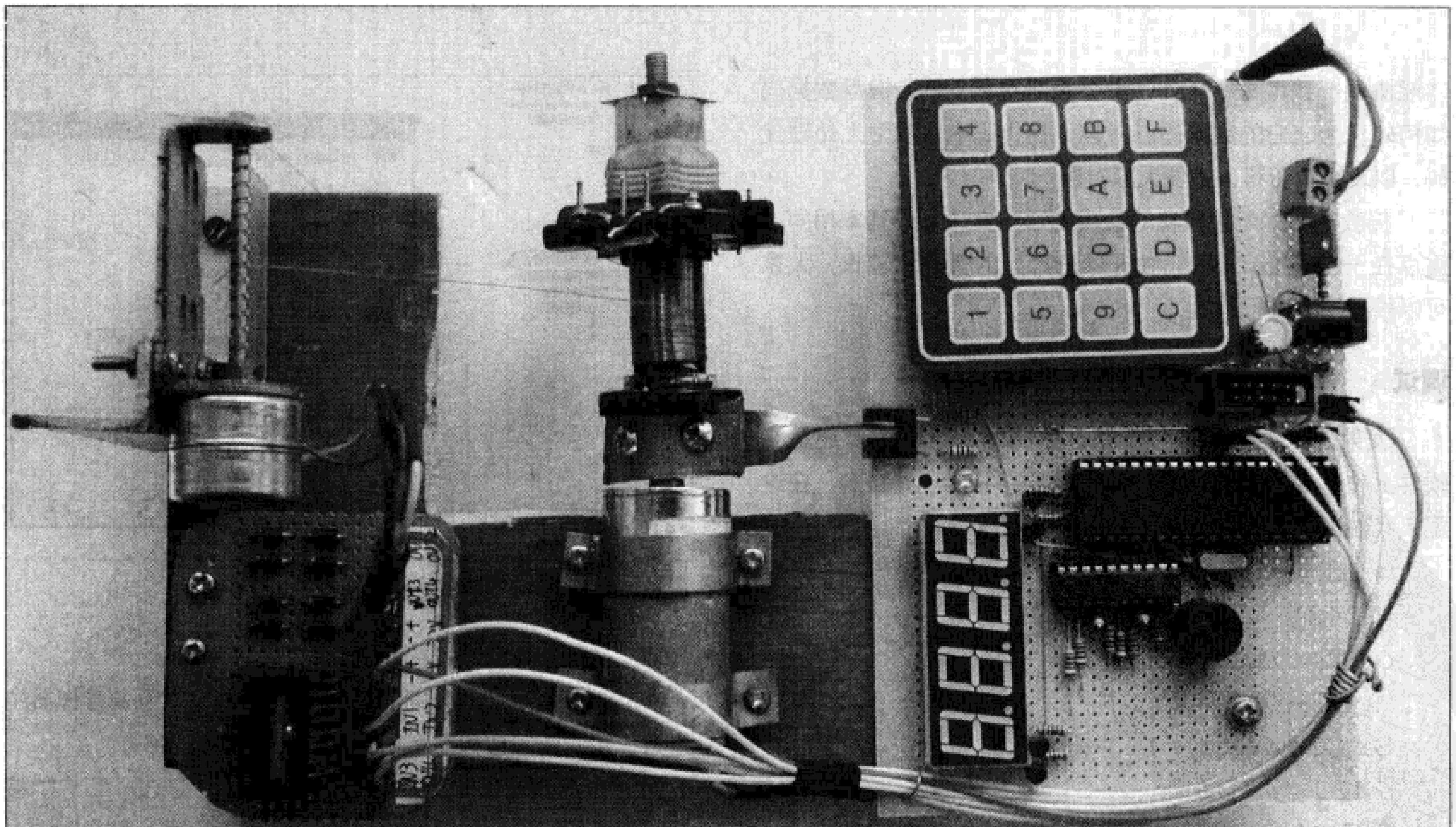


图1 做好的自动绕线机

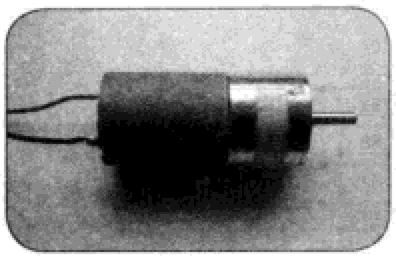


图2 直流减速电机

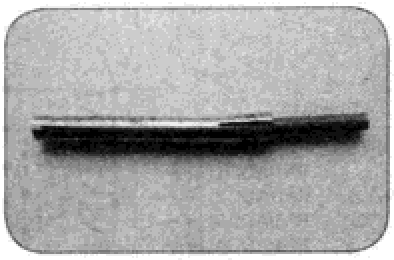


图3 砸进螺丝钉的钢管

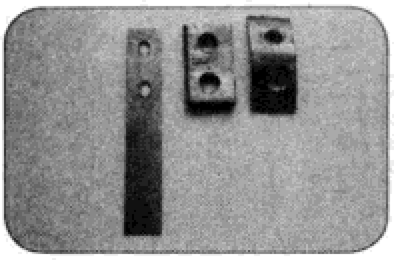


图4 打好螺丝孔的铁皮

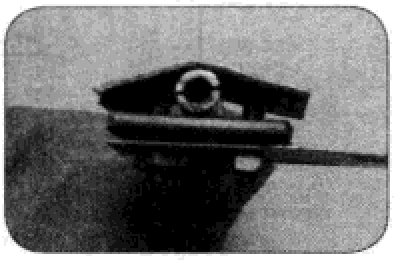


图5 把铁皮固定到钢管上

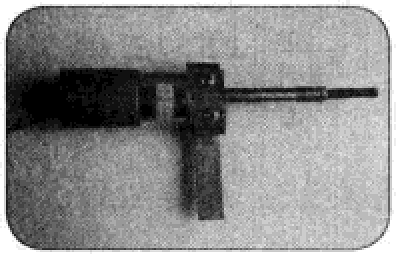


图6 安装减速电机

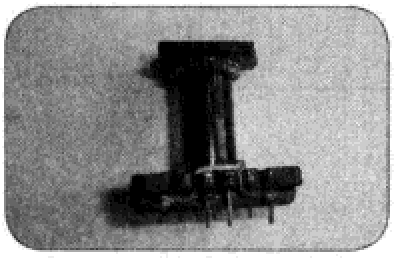


图7 变压器线圈框架

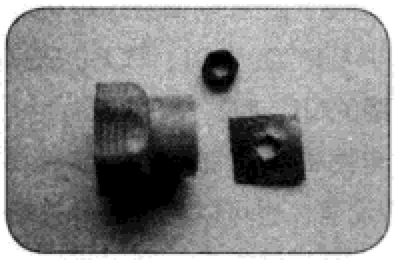


图8 准备材料

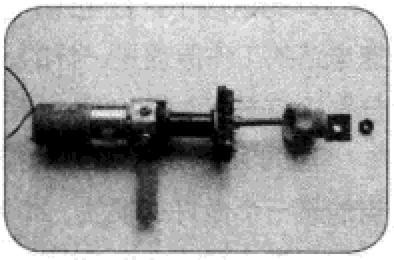


图9 把线圈框架固定在转轴上

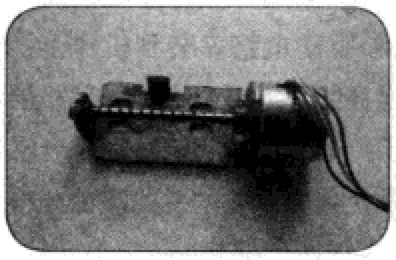


图10 旧光驱里的步进电机

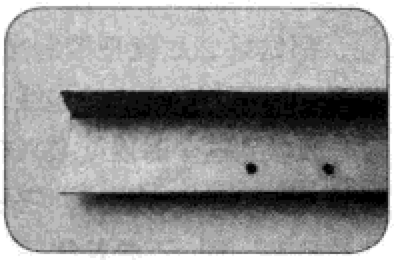


图11 铝合金型材

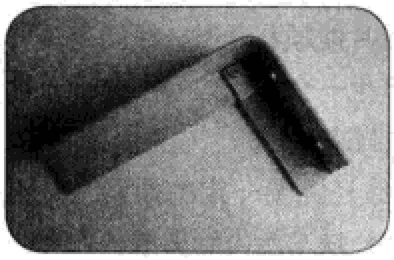


图12 加工好的铝合金

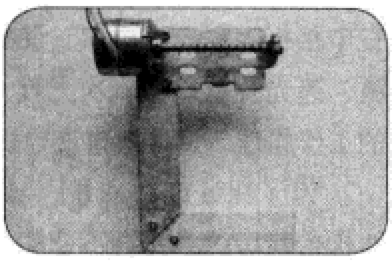


图13 安装步进电机

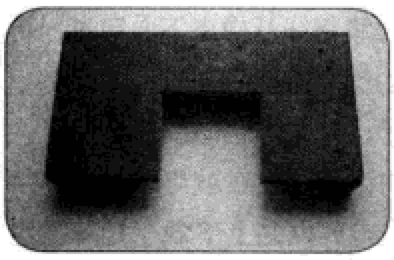


图14 木板机身

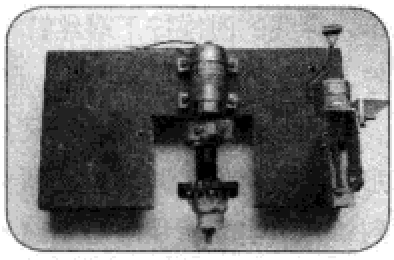


图15 固定步进电机

制作机械部分

做这个东西需要一个图 2 所示的直流减速电机，因为绕线时需要电机带动线圈把漆包线拉直缠密，这就需要电机有足够的力量。如果你能找到一个这样的电机那最好，因为它有些贵，我买的这个 12V、300 转 / 分的减速电机花了 30 多元。

有了电机就要开始自己制作转轴和联轴器了，原理并不难，不过有点费劲，下面我会以连环画的形式演示整个制作过程。首先找一段电机转轴刚好能插进去的钢管，用钢锯沿钢管径向方向在两头锯一道口。再找一个比钢管内径稍大一点的螺丝钉，把螺丝钉用锤子从钢管一端砸进去，然后锯掉螺丝头（不能先锯后砸，那样会破坏螺纹，螺帽再也拧不上了），如图3所示。

转轴做好了还需要和电机轴连接起来，找几块铁皮加工成条状并钻上螺丝孔如图4所示。用螺丝把它们固定到钢管一端，如图5所示。注意你锯的那条窄缝方向要和螺丝方向垂直，我们就是利用这条缝的收缩，夹紧电机轴使它们固定在一起的。不过那块长铁片是干什么用的呢？我就先卖卖关子吧，后面自有分解。

把减速电机插到钢管里，拧紧螺丝，如图6所示。变压器线套就是穿在这个轴上随电机一起转动绕线的。形状和尺寸可以不是很规则，转起来之后漆包线上有预紧力，径向运动是不影响绕线质量的。

图7所示是一个变压器线圈框架，我们就是在上面绕线圈的，准备一段塑料管，一个面积较大的垫片和那个去掉螺丝头螺钉的螺帽，如图8所示。用它们就能把线圈框架固定在转轴上，如图9所示，按图示顺序再把线圈框架、塑料管、垫片穿到转轴上再拧紧螺母，线圈框架就被固定在转轴上。线圈缠满时拧下螺帽就能拿下来，而且只要线圈框架能穿到转轴上就能绕线，非常方便实用。

减速电机部分完成以后就要做拨线装置了，如果老是在线圈框架的一个地方绕线，线圈绕成后会很不均匀甚至不能使用，因此必须要有一套拨线的装置，保证均匀绕线。图10中的电机是我在旧光驱里拆的步进电机，这个电机简直是为我的绕线机量身定做的，它不仅是个步进电机，上面还有一个丝杠，把漆包线放到丝杠螺纹中，控制步进电机正、反转就可以使漆包线随丝杠左右移动。

找一段铝合金型材，如图11所示。为什么用铝合金？因为铝合金材料好加工，而且做好之后比较美观。截下一段材料加工成如图12所示的形状，在底面打两个孔做固定螺丝孔。这个直角形架子是用来固定和支撑步进电机的，在顶端打两个孔把步进电机安装上去，如图13所示。

都做好之后就开始组装了，不过在此之前还要先加工一

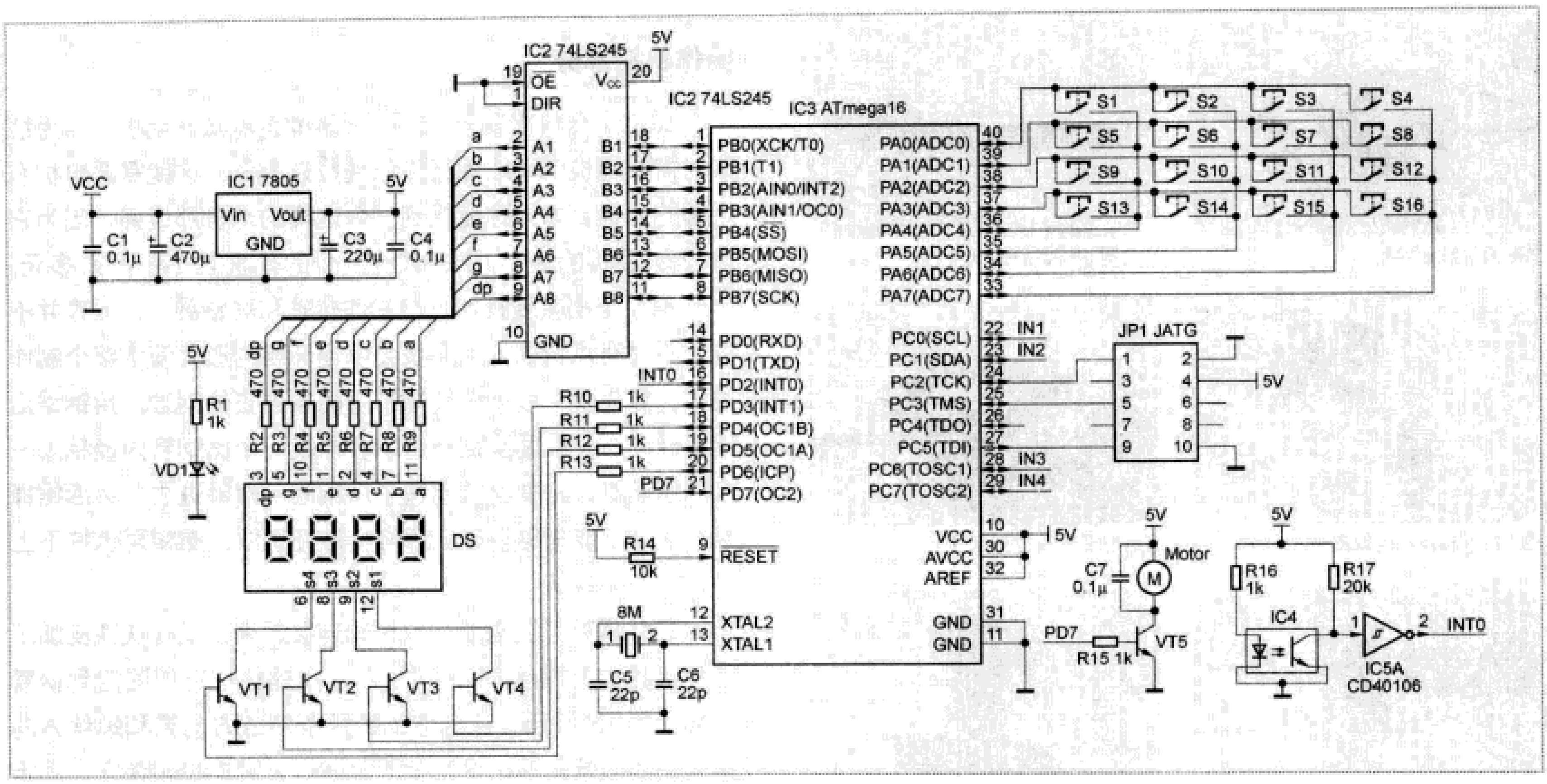


图16 控制电路原理图

个机身。找一块木板，在中间位置掏一个洞，如图14所示。为什么要用木的呢？既不美观又不规范。可是如果用铁做，光是掏这个洞你就不干了，用木头做是为了好加工。掏好洞后就把已经做好的减速电机和步进电机安装在机身上，减速电机用两块铁片捆住后再用螺丝钉固定在木板上，步进电机直接用螺丝钉固定在板上，如图15所示。

到此机械部分就完成了，不过现在它还是什么也干不了，因为还没有控制电路，这就是我们常说的机离了电就傻，电离了机就空，机电不能分家，尤其是现在自动化、集成化技术的飞速发展更突出了机电一体化技术的重要性。

制作电路部分

下面就开始电路控制的部分，图16是整个控制电路的电路图。IC1和C1、C2、C3、C4组成稳压电源电路，Vin引脚输入7V以上的电压，Vout引脚输出5V。IC2用74LS245，这是一个同相三态双向总线收发器，能提供较大的电流，用在这里是为了驱动数码管。我用的数码管是4位7段共阴数码管，VT1～VT4这4个NPN三极管可以用8050或是9014。S1～S16构成了矩阵键盘，设置参数和命令就是通过键盘按键输入的。JP1是JTAG接口，ATmega16单片机不仅可以通过ISP下载线下载程序，它内部还有调试模块，可以进行在线调试，JTAG接口就是调试接口。VT5用来控制减速电机的转速，基极接到PD7（OC2）引脚上通过PWM调制占空比来调节电机转速。由于通过的电流较大，可以用功率大点的三极管或是达林顿管，如D880、TIP122。IC4是槽型光耦，它与R16、R17和IC5组成了计数电路，这个计数电路和前面直流电机测速电路的工作原理是一样的。单片机PC0、PC1、PC6、PC7分别接前面用到的L298N驱动电路的IN1、IN2、IN3、IN4。

图17所示是我做好的控制电路面板实物。矩阵键盘我用的是一个做好的模块，如果你没有，也可以用按键开关搭建。步进电机也用5V电压对298驱动模块供电，同时用信号线把单片机和驱动电路连接起来。

都做好之后就把控制电路和驱动电路安装到机身上，如图18所示，整理一下走线。现在终于能看出这像一部机器了，我做到这个时候就很兴奋了，很想看看它绕线时是什么样的。如果写进去程序，它是否就会像那首动感的歌曲一样“动起来”呢？不要着急，我还要说两个细节。

图19是绕线机的计数部分，槽型光耦位置要适中，还要在电路板上锯一个小口，使遮光片能顺利通过。线圈每转一圈，遮光片就遮挡一次光耦，产生一个触发信号，关于光耦的工作原理，请参考直流电机的测速部分。

为了保证绕线质量，漆包线还需要一定的预紧力，不然松松垮垮的线圈缠不密实。找一块车胎内胎剪成长方形，上面垫上铁皮用螺丝钉把它固定在步进电机下面，如图20所示。穿线的时候拧下螺丝钉，让漆包线从橡皮下面穿过，再拧上螺丝钉，也不要太紧，防止把线拉断。

至此硬件部分就全部完成了，如果你也做到这一步了，那真要恭喜你，同时也谢谢你的认可。现在就可以把程序烧到单片机里了，程序可到《无线电》网站上下载。矩阵键盘各按键功能如附表所示。

按键功能说明之后我再来完整地操作一次，希望这种详细能让你满意。接上电源之后可以看到指示灯VD1亮，数码管显示0000，如图21所示。此时如果按下S1～S10键时显示器没有反应，不能输入数字。按下A键（S11）后显示器还是显示0000，不过可以输入数字了，我分别按了1、5、0键，显示器上就显示0150，这就表示我对它的速度设定是150，程序中规定速度值可以设置的范围是0～225，数越大速度越快。设定完速度以后按F键（S16）确定输入的数据并退出设定模式，此时会看到显示器又变为0000了。按下B键（S12）后会看到显示器上显示9999，这就进入了匝数设定模式，显示4个9是因为匝数默认的设定值是9999。如果我要设定匝数为200的话，就要分别按0、2、0、0键，显示值是0200，然后再按下F键（S16），保存数据并推出匝数设定。

步进电机如何进行均匀的拨线，这需要进行参数设定，但是不同的线圈框架和漆包线绕线圈时对应的参数也不一样，怎么办，一次次的试参数么？开玩笑，我要让我的绕线机自动算出来拨线运动的同步参数。先让步进电机采样计数，按下C键（S13）以后，显示器会只显示一个0，这时就进入了步进电机计数模式，把漆包线放在和线圈框架左端对齐的丝杠螺纹里，按下D键（S14），步进电机就开始转动，漆包线随螺纹向右移动，移动到和线圈框架右端对齐时，按下F键（S16），步进电机停止运行。这个过程有两个作用，一是确定了漆包线横向移动范围，二是对步进电机运行的步数进行计数，为步进电机转速的确定提供参数。

线圈框架的宽度已由采样获得，漆包线的粗细也要知道才能确定步进电机的拨线速度。但在这里不是直接输入漆包线的直径，而是要输入一个我们自己计算出的比值*N*，*N*=线圈框架宽度/漆包线直径。比如漆包线的直径是0.2mm，线圈框架宽度是40mm的话，可以得出*N*=200。按下E键（S15），显示器显示0000，分别按下0、2、0、0键，显示器显示0200，按下F键（S16）保存参数并退出输入模式。现在所有的参数都设定完成了，虽然我说了这么长，其实过程并不是很麻烦，设定的都是基本的参数。参数都设好了，电机还是不转，启动开关在哪呢？这里面没有另外再设启动开关，F键（S16）既有确定功能也是启动开关，所有参数都设

附表

按键	功能
S1～S10	分别对应数字1、2、3、4、5、6、7、8、9、0
S11	进入速度设定模式
S12	进入线圈匝数设定模式
S13	进入步进电机计数模式
S14	开始/加速步进电机计数
S15	进入步进电机同步调整模式
S16	确定/开始

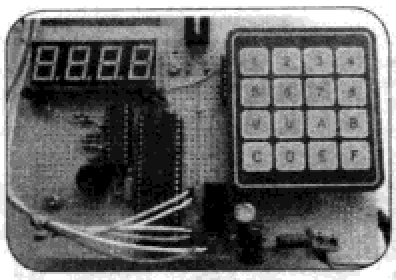


图17 控制电路和面板

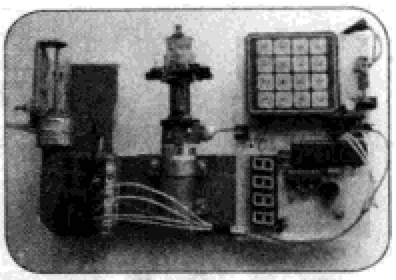


图18 安装好控制、驱动电路的机身

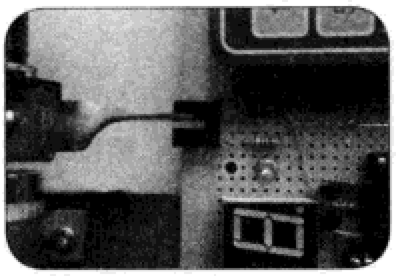


图19 用来计数的槽型光耦

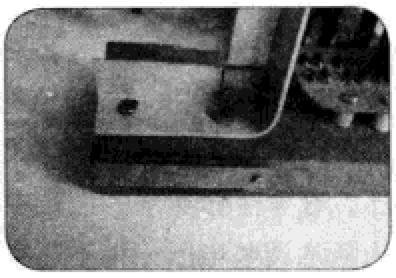


图20 垫一块车胎内胎

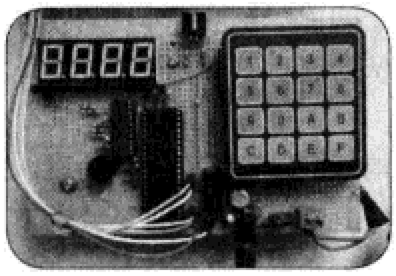


图21 数码管显示0000

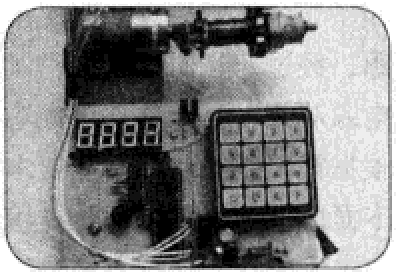


图22 绕线机开始工作

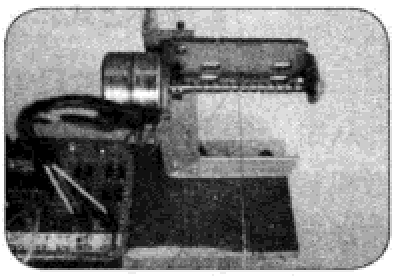


图23 绕线很均匀

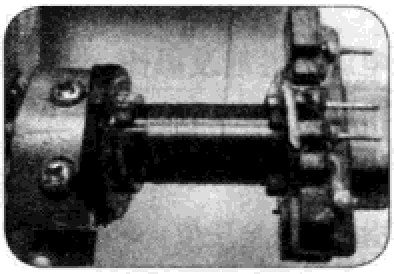


图24 绕好的线圈

定保存以后，再按F键（S16）一次，电机就启动了，绕线机开始工作，显示器显示绕线的圈数，如图22所示。每绕一圈步进电机也根据计算结果转动相应的步数，这样的往返运动使绕线均匀，如图23所示。

终于完成了，看一看我绕的线圈吧，如图24所示，效果还是不错的，至少比我绕得均匀。看着它在绕线，心中十分惬意，因为我也自己动手实现了自动化。我喜欢玩，这样的玩我觉得有意思、有意义，所以我把它公布出来跟大家分享，如果大家喜欢，我会很高兴的。

后记

电机进阶系列文章到这里就全部结束了，我也是一个学生，文章内容是这几年我的学习实践总结，参加比赛、小制作、做项目基本上都是围绕电机进行的，我是很用心地写文章的，希望在《无线电》这个老朋友上分享一些经验与心得，与大家共同学习交流。

能“锁定输出电压”的安全型数控稳压电源

◎周坚

学校实验室使用的直流稳压电源，大多是通过电位器来调整输出电压。在学生做实验的过程中，往往有人随意调整电压，稍不注意，就会造成实验失败或器件损坏。为此，我制作了一个能够“锁定输出电压”的电源，经过一番研制，就有了这块数控电源芯片。利用这块电源芯片，可以根据需要制作各种性能要求的电源。下面以笔者制作的一台样机为例，对该电源的功能作一个描述，再介绍其制作方法。

电源的性能及操作

图1所示是样机的外形图，从图中可以看到，电源面板上用3位数码管指示输出电压值，4个发光管用来指示各种工作状态，5个按键用来进行各种设置。

1. 技术指标

◆输出电压：3~12V。

◆电压调整方法（2种）：

◇普通调整：0.1V/级递增或递减；

◇快捷调整：按预设电压值快速切换。

◆限流：当输出过电流超过0.1s后，切断输出，同时过流指示灯点亮。

◆调压模式（3种）：

◇快捷调整电压时自动关闭输出，普通调整时不关闭输出；

◇快捷调整和普通调整时均自动关闭输出；

◇快捷调整和普通调整时均不会自动关闭输出。

◆开机模式：

◇开机时调出预设电压，但并不输出，需按输出键后才输出；

◇开机时调出预设电压，直接输出。

◆分辨率：控制板输出不低于0.1%，稳压电源精度取决于电源板的设计。

◆锁定模式

◇不锁定输出，可以自由调整输出电压；

◇锁定输出，锁定当前输出电压，电压即不可调整，直到进入解锁模式并输入解锁口令后才能重新调整电压。

2. 显示方式

3位数码管用于显示当前输出电压，4位发光管分别用于指示“输出”、“过流”、“锁定”与“模式”。当输出指示灯亮时，输出端子上有电压输出，不亮时，输出为零；过流指标灯亮时，说明有过流现象，应检测负载情况；锁定指示灯亮，说明此时工作在锁定状态下，

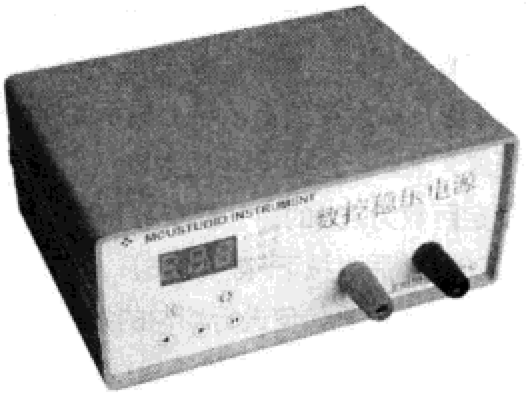


图1 电源样品的外形

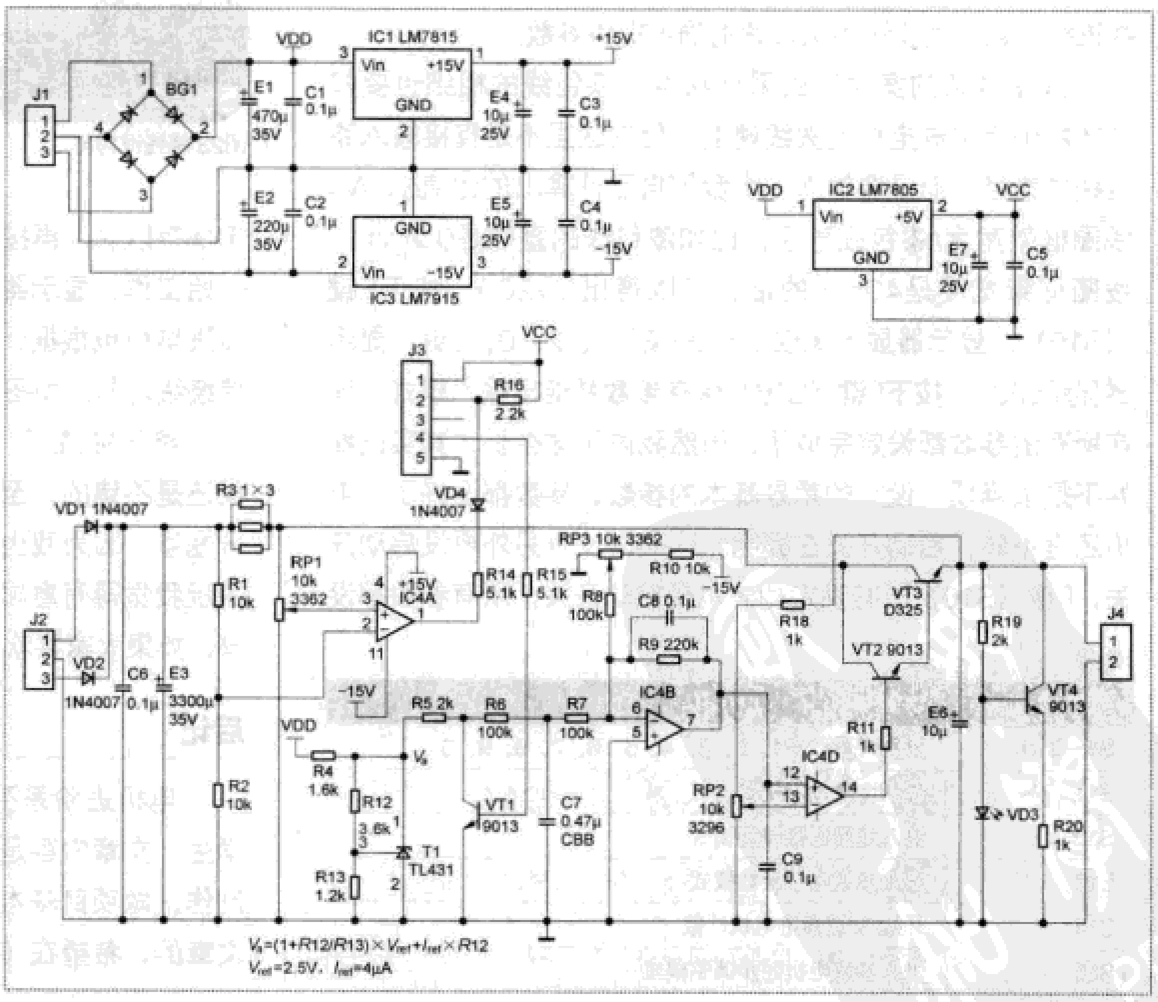


图2

电压值不可直接调整，需要进入设置状态解锁后才能调整电压，模式指示灯点亮时，只能在关闭电压输出后才能调整输出电压值。

3. 按键操作

本机有5个按键，分别是功能键、加1键、减1键、快捷变换键和输出切换键。这5个按键的功能描述如下：

功能键：按该键进入设置状态。

加1键：未进入设置状态直接按该键时，每按一次加0.1V，可以快速连加。进入设置状态后，每按一次显示数字加1。

减1键：未进入设置状态直接按该键时，每按一次减少0.1V，可以快速连减。进入设置状态后，每按一次显示数字减1。

快捷变换键：每按一次，按预置值更改输出电压，预置值为3、5、6、9和12V。

输出切换键：当有电压输出时，按下该键立即切断输出，无电压输出时，按下并保持约 1.5s 后产生输出电压。

工作原理

本机由控制板和主电源板两部分组成，分别介绍如下。

1. 稳压电源及过流保护

图2所示为主电源板部分，其中IC1、IC3及相关部分组成±15V电源，提供给运算放大器LM324。IC2是7805，用于提供5V电源给控制板。

图中，R18、RP2、IC4D、VT2、VT3等元件构成一个典型的串联稳压电路，其中VT3为电源调整管，IC4D的反相输入端通过多圈电位器RP2和电阻R18接到输出端，引入负反馈。如果IC4D的同相输入端接一个基准电压，那么，通过调整RP2就能改变输出电压，这也就是教科书上经典的串联稳压电源电路。但这里并不通过手工调节电位器来调节电压，而是在IC4D的同相输入端接一个“可变”基准电压。显然，只要改变这个电压值，输出电压也就随之改变。

R19、VD3、VT4、R20等元件构成一个恒流源，用于提供一个负载，避免空载时的失控。

IC4A与R1、R2、RP1、电流取样电阻R3等组成过电流检测电路。当电路未接负载时，调整RP1使得IC1A输出高电平，当电路接有负载时，电流必然流过R3，在R3两端形成电压降，这使得RP1两端电压下降，即IC1A同相输入端的电压下降。当电路中流过额定电流（如1A）时，调整RP1，使得IC1A刚好输出翻转。这个输出经过VD4和R16电平变换后，得到一个低电平，该电平被送往控制板，用来切断输出。

这样，电路的调压、保护等功能都已分析完毕，只要能够输出适当的基准电压，就能够获得所需要的输出电压了。

2. 基准电压的产生

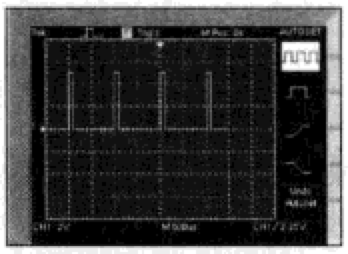
基准电压通过PWM方式来产生，控制板产生的PWM控制信号通过R15接到VT1的基极。图3所示是两种占空比的PWM波形。

R4、R12、R13和T1（TL431）构成了一个基准源，在Va处得到5V的稳定电压。R5是反相器VT1的集电极负载电阻，经过VT1倒相后，10%占空比的波形会变成90%占空比的波形，而80%占空比的波形会变成20%占空比的波形。不过，这也正是我们所需要的，详见下面的分析。R6、R7和电容C7构成滤波电路，将PWM波形变换成稳定的直流电压。其电压值为：

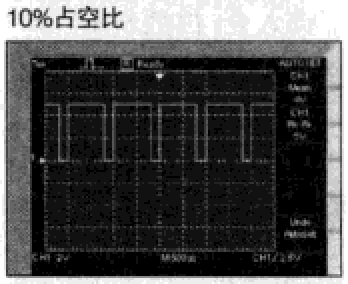
$$V_o=T_i/T\times V_{ref}$$

式中T_i/T就是占空比，而V_{ref}是由基准源TL431生成的5V标准电压。

这个基准电压经过由IC4B组成的反相比例放大器进行放大，并送到IC4D的同相输入端作为稳压电源的基准电压。这里有个问题，由于输入IC4B组成的反相比例放大器的电压为正，放大后的电压就应该是负，而这



10%占空比



80%占空比

图3

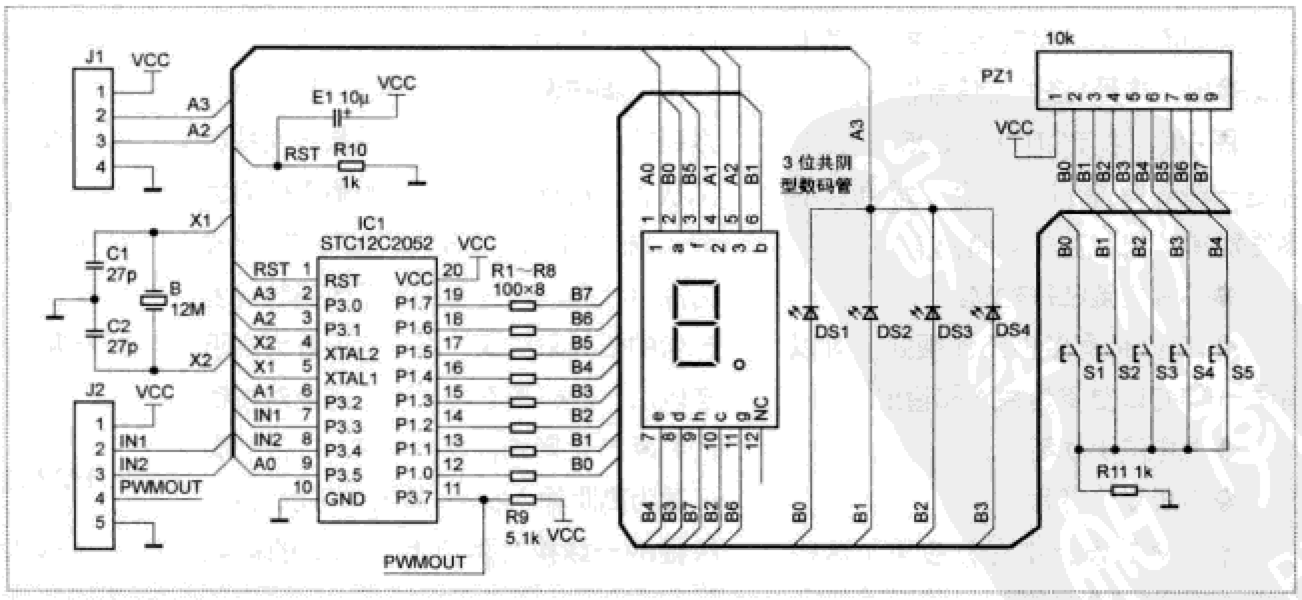


图4 控制部分原理图

是无法满足使用要求的。当然，多用一级放大器就可以解决这一问题，但本电路设计中恰好用完一片四运放，为不增加芯片，这里使用了“调零”的方法。当控制端输出最低电压的控制要求（10%占空比的脉冲信号）时，经过VT1反相得到90%占空比的脉冲信号，滤波后实际得到的*Vo*是90/100×5=4.5V，而当控制端输出最高电压控制要求（90%占空比的脉冲信号）时，经过VT1反相得到10%占空比的脉冲信号，滤波后实际得到的电压为10/100×5=0.5V。这样，只要在IC4B的输入端为4.5V时，通过调整RP2，将输出电压调整为0V。在IC4B的输入端为0.5V时，必然会有一个正电压输出。. 按R9为220kΩ来计算，这个输出值约为10V。当然，这个值的绝对值大小并不重要，因为可以通过RP3电位器来调整。

需要说明的是，这仅仅是一种设计方案，读者可以根据基准电压产生这一部分内容的介绍来设计各种基准产生电路。同时，也可以设计出各种不同电路形式的稳压部分，以获得更大的输出电流、更高的效率或更好的性能。

3. 控制板部分

图4是控制板部分的电路原理图，从图中可以看到，控制板由单片机IC1、3位LED数码管，4个发光二极管和5个按键组成。控制器提供1路基准电源输出，接受1路过流信号输入。

图中IC1采用STC12C2052，该芯片是一种与80C51在指令一级兼容的高性能单片机，其主要特点有：

◆芯片内置EEPROM；

◆I/O口具有多种工作模式，可以将同一个I/O口复用为输入和输出；

◆大电流驱动能力；

◆内置复位芯片。

本电路的设计中充分应用了这些特性。从图中可以看到，3位数码管和4个LED由芯片直接驱动，没有加任何驱动芯片或者三极管。内部EEPROM被用来存储设定的参数，无需再扩充其他存储芯片，利用I/O口的复用特点，P1口作为数码管段驱动的同时，又可作为按键的输入，大大节省了I/O引脚。复位电路只需使用简单的RC复位电路，就可以得到很好的复位效果。

控制芯片根据按键的设置，从基准源输出端送出各种不同占空比的控制电压，最终通过滤波得到稳定的电压，用以控制稳压电路部分，使得电路输出不同的电压。

控制程序编写

硬件电路设计完成后，就要编写软件了。软件基本上可以分为键盘驱动、PWM生成、功能实现等部分。

1. 键盘处理程序

STC单片机的引脚可以设置为推挽输出、强上拉、仅为输入等状态，这个电路就是使用此特性来实现引脚的复用，以便使用只有20个引脚的单片机，降低成本。从图4中可以看到，数码管驱动和按键复用了P1.0～P1.4引脚。在大部分时间内，这些引脚被设置为推挽输出，用于驱动数码管。每隔一段时间，采集一次按键的状态。在将这些引脚作为输入使用之前，先把P3.5、P3.2、P3.1、P3.0置为高阻状态，这些引脚用于数码管或发光管的公共阳极端，将它们设置为高阻态以后，数码管不再导通，避免对按键的判断产生影响。接着将P1口各引脚设置为高阻输入状态，从图中可以看到，按键的一端接有阻值为10 kΩ的排电阻，这个排电阻的公共端接+5V，而按键的另一端全部连接在一起，并通过1kΩ 电阻接地。当P1口被置为高阻状态后，如果没有键被按下，则由于排阻PZ1的作用，P1相应的引脚上将读到高电平1。如果有某一个或者多个按键被按下，则这些按键对应的引脚将变为低电平。因此，读入P1口的状态即可判断哪些按键被按下。参见键盘处理程序。

键盘处理程序

```
uchar Key(void)          //键盘处理
{  uchar Key;
   static uchar Mark;  //标志
   uchar temp1, temp2=0;   //暂存键值
   if(Mark==0)          //无键按下
   {     if(iTNum!=0)
         return 0;
   }     TR1=0;
   temp2=P3;            //读取P3值
   temp2|=0xd8;         //除P3.5、P3.2、P3.1、
   P3.0以外、各位置1
   P3M1&=0xd8;
   P3M0|=0x27;          //P3.5、P3.2、P3.1、P3.0
   置为高阻
   temp1=P1;
   P1|=0xff;            //P1输出为高
   P1M0=0xff;
   P1M1=0;              //设置P1口是高阻输入
   uDelay();            //短暂延时
   Key=P1;              //取P1口的值
   P1M0=0x0;
   P1M1=0xff;           //设置P1口为推挽输出
   P1=temp1;            //还原P1口的值
   P3M0&=0xd8;
   P3M1|=0x27;          //恢复P3相应端口为推挽输出
   TR1=1;
   Key|=0xe0;           //高3位不参与键值判断
   if(0xff==Key)        //无键按下
   {     Mark=0;        //清除该标志
  ……常规的按键操作程序。
```

2. PWM波形生成

PWM波形的频率可以根据工作特点和单片机内部结构等来确定，这里

使用50Hz。程序中，CalcPwmOut函数根据设定的数值，计算PWM波形中高电平和低电平各应持续的时间，然后折算成定时器的定时初值。频率为50Hz即定时时间为20ms，也就是不论输出波形的占空比如何，其周期总是20ms。当所用晶体频率为12MHz时，周期的计数值必须是20000。周期计数值由高电平输出阶段持续时间和低电平输出阶段持续时间两部分组成，这两部分计数值加起来是20000。以占空为20%为例，高电平持续时间为4ms，计数值为4000，而低电平持续时间为16ms，计数值为16000。理论上，输出的控制电压可以在0～5V之间变化，即占空比可以为0%～100%，但实际上，为了保证精度，这里规定占空比不得超过10%～90%，即基准电压在0.5～4.5V之间变化，计数值在2000～18000之间变化。为了获得整数计算结果，这个值也可能会有所调整。例如，我们要设计输出电压为3～12V的电源模块，如果计数值从2000～18000变化，即变化量为18000-2000=16000，16000/90=177.77，这样不合理。如果将起点和计数值设为2000～16400，即间隔为16400-2000=14400，14400/90=160。这样，相应的计算公式是：$V_v\times160+2000$，式中V_v用来表示电压值，其值从30变化到120。当设定电压为3.0V时，计算结果是6800，而当设定电压为12V（V_v=120时），计算结果是16400，相当于获得的基准电压为1.7~4.1V。当禁止输出时，输出占空比为10%的PWM波形，即0.5V的基准电压。见PWM波形生成程序1。

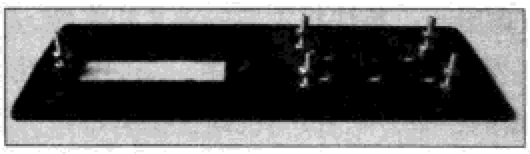


图5 安装控制电路到面板

PWM波形生成程序1

```
void CalcPwmOut()            //PWM输出计算
{
    ulong      ltmp;
    ltmp=Vv;                 //取设置值
    ltmp*=160;
    ltmp+=2000;
    if(OutCnt==0||iProtect)  //如果禁止输出
        ltmp=2000;           //则输出基准值
    Tmr0H=ltmp;
    Tmr0L=PwmZs-Tmr0H;
……
```

PWM波形生成程序2

```
Tmr0HH=(65536-Tmr0H)/256;
Tmr0HL=(65536-Tmr0H)-Tmr0HH*256;
Tmr0LH=(65536-Tmr0L)/256;
Tmr0LL=(65536-Tmr0L)-Tmr0LH*256;
```

计算出高电平应该持续的时间以后，用PwmZs（20000）减去这个值，就是低电平持续时间。然后再分别计算出高电平持续时间对应的TH0预置值和TL0预置值，其方法是用65536减去相应的计数值，然后分别取高8位和低8位，见PWM波形生成程序2。

制作与调试

作者是批量制作，因此使用了印制线路板。其中图2用了单面板，而图4则使用了双面板。图4所示的控制电路基本不需要调试，只要安装无误，即可正常工作。图2所示主电路需要按一定的顺序进行调试。安装主电路后，与控制电路连接，数码管上应能显示默认值3.0。单击按钮，按“按键操作”一节的描述测试各功能，对于输出电压不必在意，只要数码管、LED显示正确即可。

LED、数码管等功能测试完毕后，按下输出切换键，关闭输出，此时输出指示LED熄灭。使用万用表测量图2所示V_a，该值应该是5V，这个值的绝对精度要求并不高，因此通常不需要调整。如果该值偏离5V较多，应检查T1及周边元件是否损坏。当V_a是5V时，VT1集电极电压约为4.1V。调节RP3，使得IC4的7脚输出为0V，即完成零点调整。将数码管上电压输出值调整为12.0V，按下输出切换键，开启输出，此时输出指示LED点亮。测量J4输出端电压，调整RP2，使得输出端的电压为12V即可。输出保护可以视需要来进行调整，如果要在输出电流是1A时保护，可以在输出端接上负载，并串入电流，调整负载，当电流为1A时，调节RP1，使得IC4的1脚输出低电平。

笔者使用的机壳是市场上一种较易购买到的，价格大概在5～6元左右，恰好可以装入一个20W的变压器和主板。控制板就直接安装在面板上了，如图5所示。面板上根据印制线路板安装孔的尺寸，打4个安装孔并锪孔，使用沉头螺钉，以便螺钉头部嵌入面板不致突出。穿过螺钉后用螺母紧固，然后再拧入第2个螺母。将印板上的4个安装孔穿入螺钉，调整螺丝上的第2个螺母，可以调整印板到面板间的距离，加平垫、弹簧垫并用螺母压紧，即完成印制线路板的安装工作。

最后用激光打印机打印一张不干胶贴纸，刻去数码管显示窗口部分的纸，粘贴在面板上。注意按键和数码管的前面放置一小块透明的薄膜，这块放置在不干胶和面板之间。薄膜不能太硬，否则按键手感不好，也不能太软，否则贴纸很快会被顶破。作者用的是教学投影片，效果不错。将盒子盖起来时，在贴纸前面再粘一层保鲜膜，这样，贴纸不易脏，其上打印的字也不易脱落，使用效果较好。当然，有条件时，制作薄膜面板是效果最好的。最终的制作效果如图1所示。

◎徐玮

小巧实用的51单片机GPS开发板

在外出旅游途中，我们经常可以见到驴友们用飘带来标记路线，用以提示后面的人以及记录返回路线，其实这就是GPS发明的原动力。在本文中，我们将介绍一款基于51单片机控制的GPS开发板，学习一下GPS的基础知识与应用方法。

GPS的由来

一直以来，出行的问题困扰着大家：我现在在哪里？应该向哪个方向走？在远古时期，人类开始用标记的方法来记录线路，不过这种普通的方法有很多缺点：万一标志被雪覆盖了怎么办？如何标记不同的路线？虽然后来发明了地图，不过在过去的几千年中，使用地图来确定自己的地理位置，依然只有专业人员才能做到。

直到20、21世纪，一直困扰我们的问题终于有了一个有效、便捷的解决办法，那就是GPS——全球定位系统。GPS系统的到来，推动了导航、测量、地图制作等新兴行业的崛起，并且目前已广泛应用于各行各业，这些例子大家在电视、报纸和杂志上已经看到很多了，其中最为重要的一个应用就是导航。

说到导航，最早人们采用长波信号来做无线电导航，波长达26公里，长波可以轻易地被电离层反射，但是它所带来的缺点是覆盖的工作区域小，电波传播受大气影响，定位精度不高。

自从1957年有了卫星，科学家的兴趣自然就转到这上面来了：卫星可以发射短波长信号，穿透电离层覆盖半个地球的面积，从而诞生了GPS系统。

现在，我们对GPS很耳熟，但GPS全球定位系统究竟是什么东西呢？它的原理又是如何呢？相信多数人对其概念还是比较模糊的，下面我们来看一下这款基于51单片机控制的GPS开发板的硬件原理与实战使用过程。

GPS开发板的功能与特性

GPS开发板的功能是通过液晶屏实时显示GPS数据信息：卫星时间、经度、纬度、海拔高度等相关信息，板子提供了12864液晶和TFT彩屏接口。开发板采用贴片元器件，使用外接电源或USB线缆供电，方便笔记本用户，以便到室外进行调试，用笔记本或上网本插上USB线就可以实现供电。同时，开发板提供了RS232外部串行通信接口，可以通过PC机对开发板上的单片机芯片进行在线烧写，同时，板上设有通信模式切换跳线，可以设置成3种串口通信模式，分别为：PC机－GPS模块；PC机－51单片机；51单片机－GPS模块，即三者之间两两通信。对于开发板使用的元件全部为贴片优质器件，使用钽电容，性能稳定，质量可靠。

GPS开发板采用的是STC89C52单片机，11.0592MHz晶体，我们配备的GPS模块型号为GS-89m-J。模块是由韩国生产，贴片封装，采用的MTK芯片组，在功耗，价格，体积上都有相当的优势。GPS模块可以直接与单片机芯片的串口相连，通过单片机对GPS数据进行解析，或者通过电平转换电路MAX232，将模块的串口和PC机的串口连接。模块上电接收到卫星信号后，通过串口输出数据，我们可以通过解析数据得到经纬度以及海拔高度等相关信息，通过12864点阵液晶屏或TFT彩屏进行数据显示。整块板主要由单片机系统、显示电路、串口电平转换电路三部分组成。由于GPS模块数据输出是通过串口输出的，单片机和PC机端也都有串口，所以可以通过板上的跳线进行切换，从而实现三者之间的两

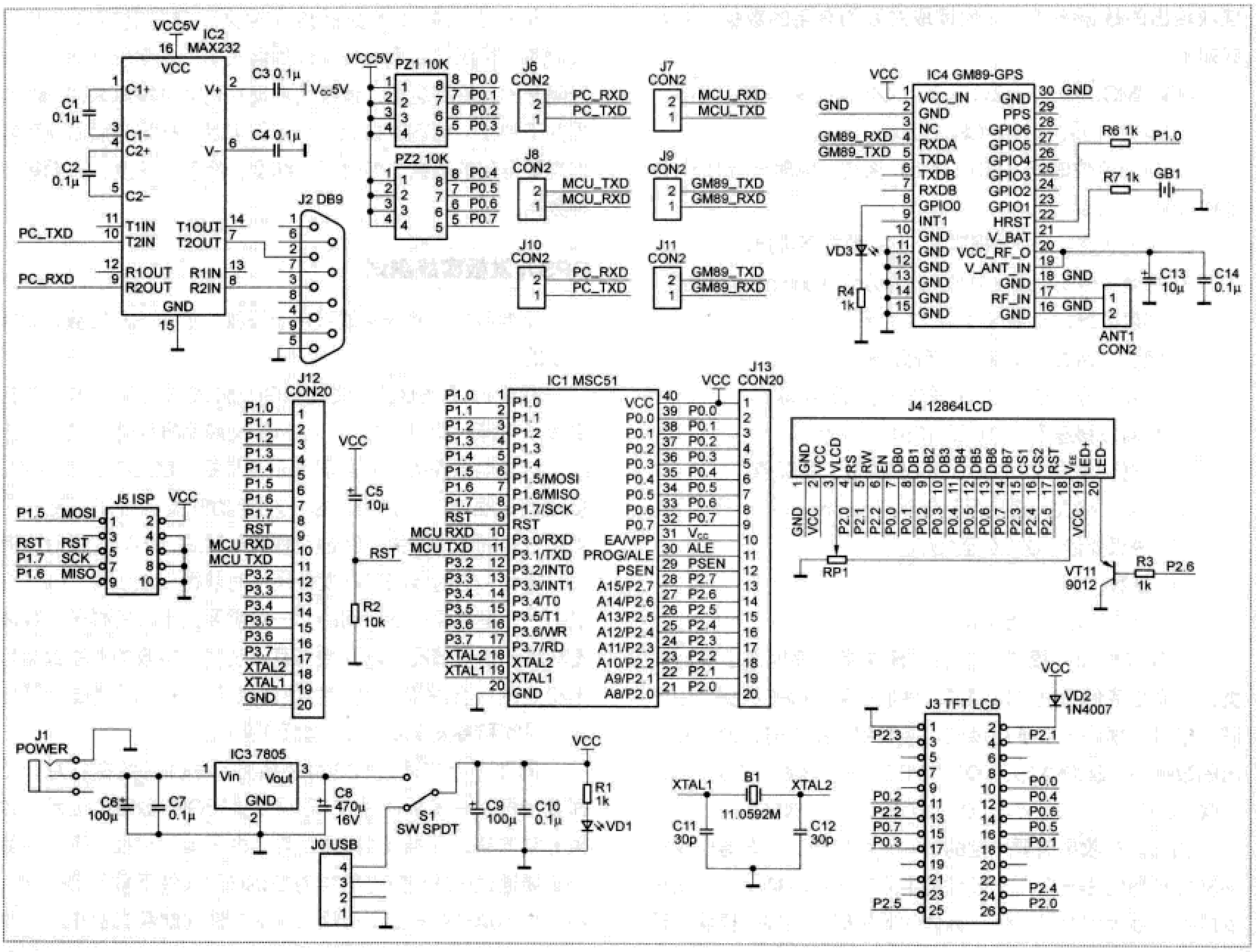


图2

两通信。当我们设置成PC机和单片机通信时，可以通过串口ISP在线下载程序，如果您的计算机没有串口，可以使用USB转接线进行ISP下载，非常方便。当我们设置成单片机和GPS模块通信时，可以用单片机来解析GPS模块数据。当设置成PC机和GPS模块通信时，我们可以通过PC上位机应用软件来监视GPS模块的数据输出。我们介绍的GPS开发板如题图所示。

GPS开发板电路原理图如图2所示。它由7个单元电路组成，分别是：稳压电路，单片机最小系统电路，显示电路，MAX232电平转换电路，AT89S系列单片机ISP下载口电路，通信跳线设置电路，GPS模块外围电路。稳压电路给开发板提供5V VCC电源电压，由单片机芯片、振荡电路和复位电路组成了单片机最小系统电路，12864液晶和TFT彩屏接口是我们的显示终端接口；MAX232芯片与其外围电路组成了RS232-TTL电平转换电路，J5为10芯标准ISP下载口，J6—J11为串口通信模式设置跳线，IC4为GPS模块，它的外围电路很简单，由几个电阻、电容、电池和发光管组成。

GPS模块的4脚和5脚分别为串口接收和发送脚，GPS卫星接收下来的数据就是通过这两个脚输出的，我们到时候也是从这两个脚来解析数据，获得地理信息，它们可以与单片机或PC机相连。发光管VD3为GPS模块的工作指示灯，通电常亮，接收到卫星信息开始闪烁，我们通过LED灯可以来判断GPS模块的当前工作状态。GPS模块的第22脚经过电阻R6与单片机的P1.0口相连，这是外部复位输入，模块内部有复位电路，提供复位信号。21脚为外置电池输入端，由3V的纽扣电池供电。由于GPS模块从卫星上收到的数据量很大，它要进行大量运算工作，在此期间一些数据要进行保存，所以我们需要给模块提供电源。模块的1脚为VCC电压，电源电压为5V，17脚为外置GPS天线的输入口，开发板配的是3米外置天线，可以让使用者在室内进行实验，把天线拖在窗外即可接收。

在了解了开发板的硬件原理图后，我们来看一下GPS

模块输出的数据格式，如何读取对我们有用的数据，其格式如下：

$GPRMC，<1>，<2>，<3>，<4>，<5>，<6>，<7>，<8>，<9>，<10>，<11><CR><LF>

1. 标准定位时间（UTC time）格式：时时分分秒秒.秒秒秒（hhmmss.sss）。

2. 定位状态，A = 数据可用，V = 数据不可用。

3. 纬度，格式：度度分分.分分分分（ddmm.mmmm）。

4. 纬度区分，北半球（N）或南半球（S）。

5. 经度，格式：度度分分.分分分分。

6. 经度区分，东（E）半球或西（W）半球。

7. 相对位移速度， 0.0 至 1851.8 knots

8. 相对位移方向，000.0 至 359.9度。实际值。

9. 日期，格式：日日月月年年（ddmmyy）。

10. 磁极变量，000.0 至180.0。

11. 度数。

12. Checksum.（检查位）

当我们给GPS模块上电后，模块将不停地送出实时数据，下面是我们通过串口调试软件监视到的GPS数据。由于刚上电时，模块一下子还没成功接收到卫星信号，此时它输出的数据为：$GPRMC，000355.026，V，8960.0000，N，00000.0000，E，0.00，0.00，060180，，，N*79

由于GPS收星需要一定的时间，相信用过汽车导航仪的朋友会熟悉到这一点，一般经过半分钟左右的样子，模块可以成功地接收到卫星信号，具体的收星时间由GPS模块的硬件特性所决定，从上电大约半分钟后，我们可以看到以后的串口数据信息：

$GPRMC，090113.000，A，3958.2847，N，11616.6454，E，0.00，0.00，080110，，，A*60

根据上面的GPS数据格式定义，我们就可以分析出$GPRMC标识符后面的各字段的含义了，各字段之间是用逗号隔开的，看到这里，读者朋友现在也会觉得原来GPS的数据并不神秘，也不过如此：）我们可以在标识符后面读到我们想要得到的数据，如时间、纬度、经度、速度、日期等各种数据。

GPS开发板实战测试

下面我们一起来实战试用一下我们的GPS开发板是如何工作的。

我们通过USB供电线连接GPS开发板与上网本，并提供板子电源，同时，插上12864中文液晶屏和外置式GPS天线。打开电源开关，液晶屏显示开机提示LOGO信息“GPS接收调试程序”，注意：板上使用的开关也可以说是一个供电方式的切换开关，经过几秒钟延时后，出现“授时、海拔”字样，这时候GPS开发板还没有获得卫星信号，GPS开机的过程是需要一定时间的，一般需要几十秒的样子，具体看环境和信号情况。刚开始屏幕出现GPS接收的卫星数据是不稳定的，会跳变，过一会便会稳定下来，正确显示经纬度、时间和海拔高度信息，如图3所示。

刚才，我们通过12864液晶显示了GPS数据信息，下面我们再将开发板通过TFT彩屏来进行GPS数据的显示，效果非常漂亮。在换TFT彩屏之前，由于单片机程序不同，我们需要通过PC机将TFT彩屏对应的HEX文件下载到芯片里，不同显示屏的C语言源程序与HEX文件在配套光盘中可以找到。在烧写好正确的HEX文件后，我们插上TFT彩屏，然后打开电源。现在TFT彩屏显示了GPS卫星数据，图中所示的数字有些地方看不到，是因为彩屏的刷屏显示速度与相机的快门速度匹配问题，人眼所看到的实际显示效果很漂

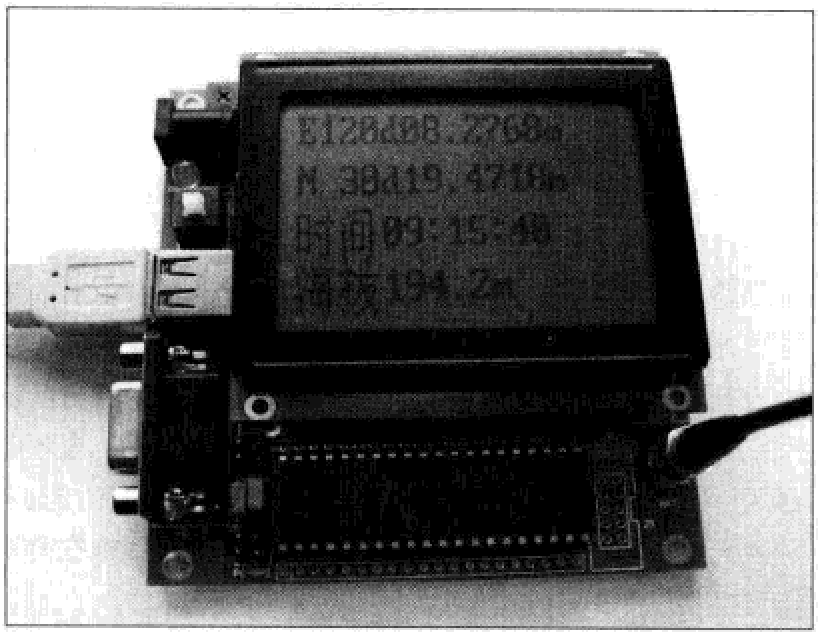


图3

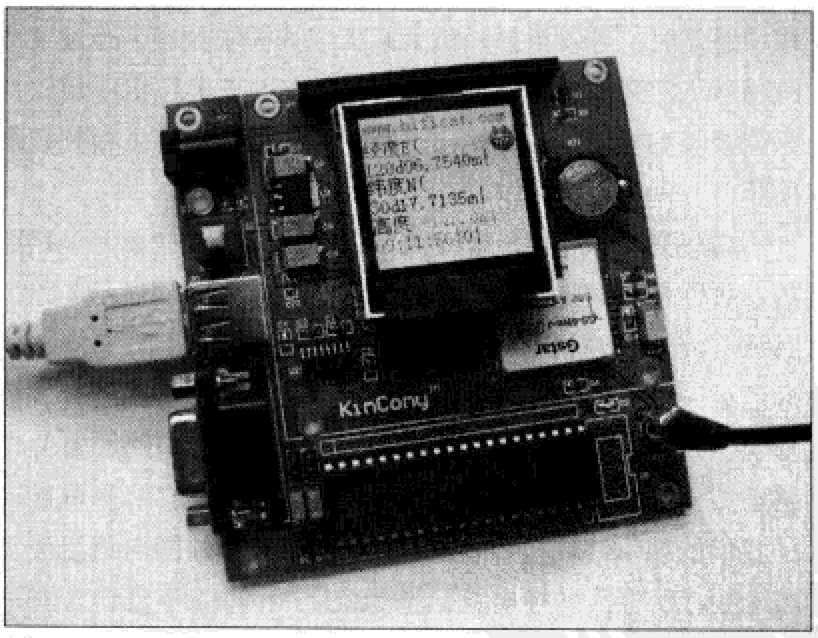


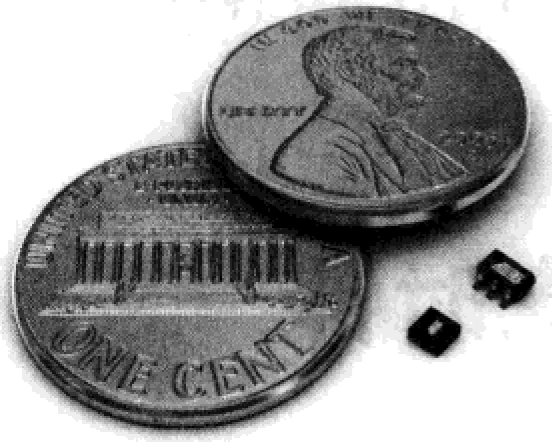
图4

Atmel公司发布2mm见方的小型MCU

近日，美国爱特梅尔（Atmel）公司发布了配备该公司8位RISC内核的微控制器“AVR”系列中封装最小的MCU。Atmel公司的ATtiny4、ATtiny5、ATtiny9 和 ATtiny10 AVR 微控制器采用超小型8-pad UDFN 封装，大小仅为2mm×2mm×0.6mm，重量不到8 mg，其尺寸只有目前市面上最小封装的55%。这些新产品可用于消费电子、照明和工业控制市场，非常适合于讲求外形小巧纤薄的消费应用产品，如手机、玩具、牙刷及其它个人护理产品和便携式电子产品等。

该系列MCU尺寸更小、速度更快、功耗更低，从而使得AVR MCU能够集成进某些超小型设计中，包括电气引脚和微型连接器的内部、打印头，以及衣里布料、塑料盖板或塑料罩壳等其他应用产品。

该产品采用了Atmel公司自主开发并获专利的低功耗



picoPower® 技术实现低耗电量，消耗电流在采用实时计数器（RTC）的省电模式下为650nA，在停止运行的掉电模式下时为100nA。可在12 MHz时以12 MIPS的速度执行代码。(资料室)

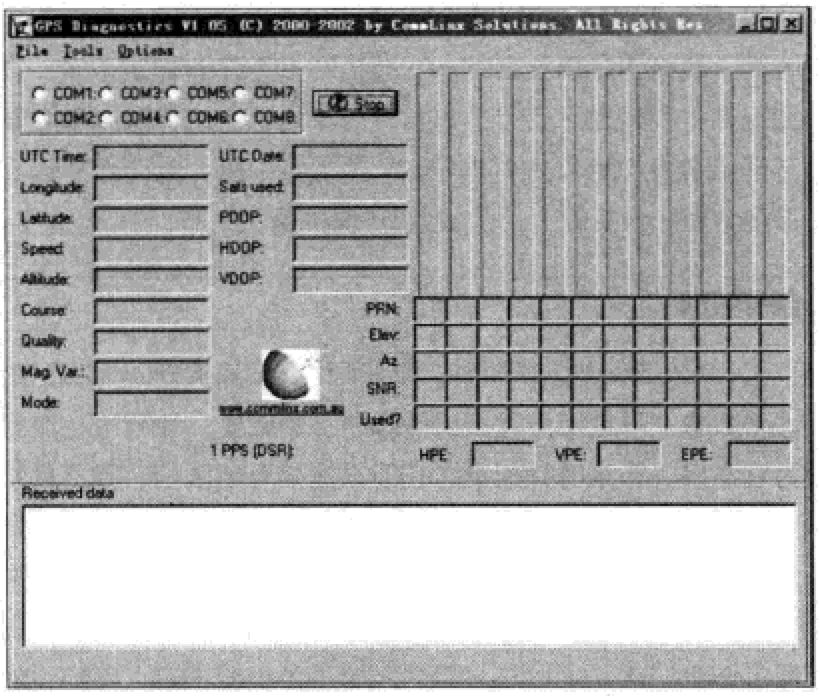


图5

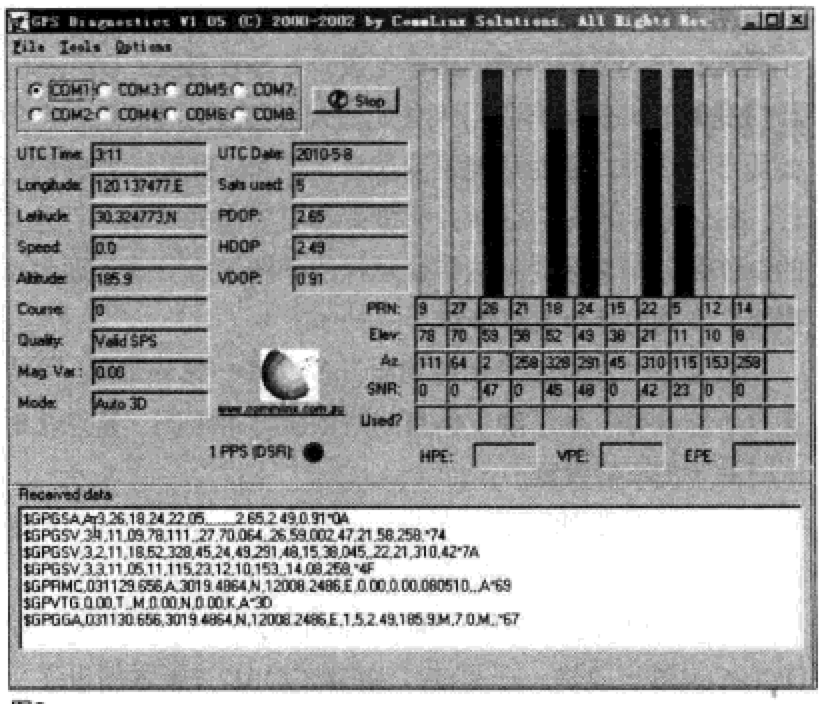


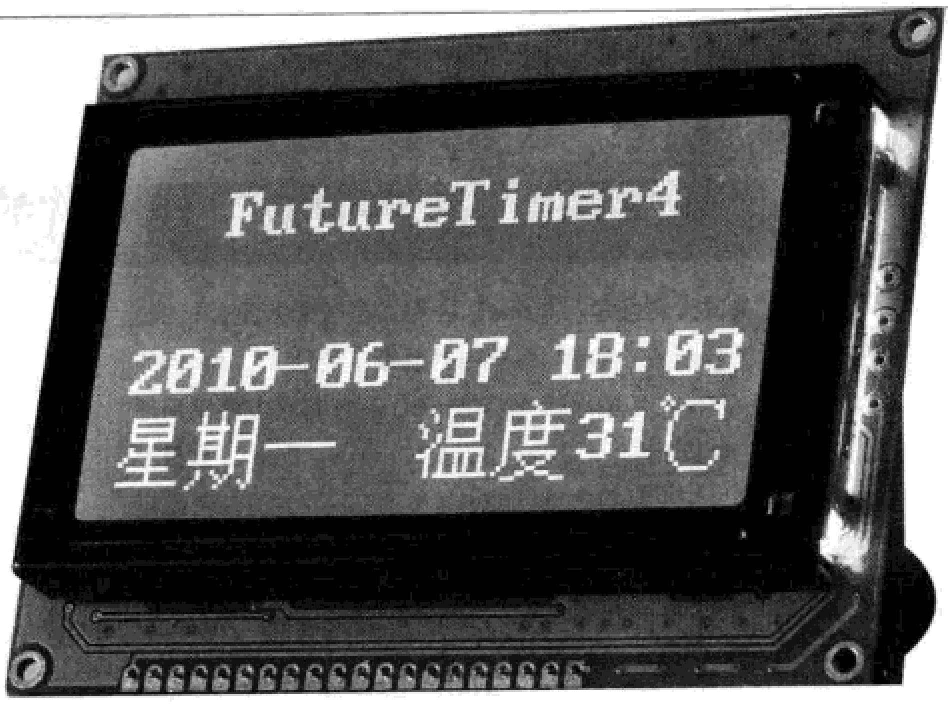
图6

亮，如图4所示。

刚才我们看到的是单片机与GPS模块进行通信，由单片机进行GPS数据协议解析并通过显示屏显示的实例。现在，我们再来一起看一下如何用电脑PC来查看GPS数据，从而实现在电脑端实时观测GPS数据。图5所示是我们打开GPS上位机软件后的界面，我们将GPS开发板通过串口线与PC机的RS232串口相连，注意板上的串口通信跳线要设置成PC—GPS模式。然后在软件中设置好COM口通信序号就可以了，对于没有RS232串口的台式机或笔记本电脑，我们可以使用USB转RS232的转接线来进行实验。从软件界面中，我们可以看到窗体中已将GPS数据各个字段内容进行了直观地显示，如时间、日期、经度、纬度、信号质量等等。软件界面右侧将会显示我们已连接的卫星数据和信号强度。

当我们打开GPS开发板的电源后，经过一段时间，我们就可以收到卫星数据了，如图6所示，PC机收到GPS模块发出的原始数据将显示在“Received Data”窗口中，同时，软件将自动解析这些复杂的数据，进行直观、形象的图形化显示。我们可以看到，刚有信号时，软件窗口中各字段显示框中已经实时显示了GPS数据的信息了。

看到这里，相信大家已经可以明白我们是如何利用GPS知识与单片机技术相结合来完成GPS定位了，读者朋友也不妨自己动手，编写一个GPS应用的相关程序，根据自己的需要做一个小实验。当然，读者朋友还可以通过网站或电子邮件与我们一起交流学习，联系方式参见本期第101页。



Future Timer4 未来时钟

◎杜洋

之前版本

还记得曾经介绍过的DY12864节日提醒时钟吗？许多爱好者朋友在看过我的文章之后就立刻投入了制作，甚至忘记了睡觉，忘记了妈妈喊他回家吃饭。并非我自吹，DY12864节日提醒时钟确实有吸引人之处。大尺寸LCD屏显示，全年公历节日提醒，实时环境温度显示，还有一些乱七八糟的设计，每一项功能都会让单片机爱好者有制作的冲动。可是真的制作起来却又会遇见这样或那样的问题，有一些问题我在撰写文章的时候也没有想到。

比如DY12864没有闹钟功能，多少有一些不完美。背光亮度不能调整，到了晚上休息的时候会显得很亮，整点报时的时间范围不能设置……。

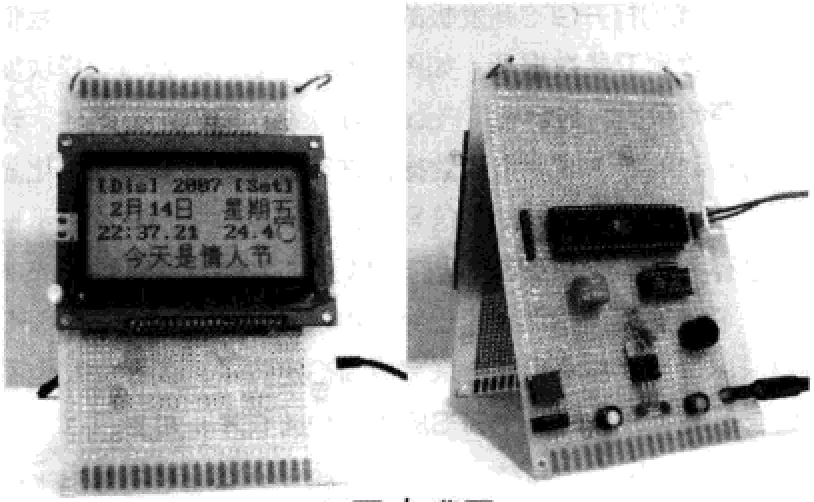
除了功能上的不足，在制作过程中也并不顺利。有的朋友LCD屏没有显示，有的则显示乱码，还有的走时误差大。

不断增加的用户和不断出现的问题，让我不得不对DY12864进行改进。于是DY12864LCC V2.1版本问世了。V2.1版本改用了更加稳定的并行接口驱动，修改了多处可能导致显示乱码的问题。新版本的推出让爱好者满意了，虽然功能上还有不足，但至少它是稳定可靠的了。

这次改进并没有让我自己满意，追求完美的性格让我不会放弃把 DY12864 做到极致。但在那个时候真的没有精力和时间，我经历了事业上的一次转折，一直没有稳定下来。直到现在，我建立了自己的事业，有了自己的工作室，我才真正开始全身心地投入到电子 DIY 的爱好中来，为全面建设和谐社会做一份贡献。于是，在我不懈的努力之下，FT4 诞生了。

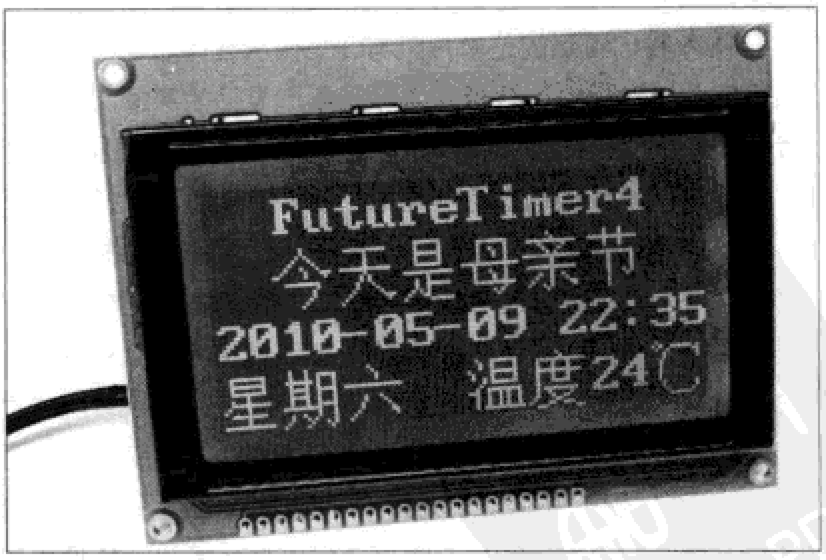
制作FT4

FutureTimer4未来时钟，简称FT4。它其实是DY12864的V3.0版本，只是因为我在设计理念上的转变，让我决定重新为它命名。未来时钟的概念和节日提醒有所区别，我不再希望屏幕上显示的是每一年周而复始的节日，而是除了节日之外的特殊事情。应该是某年某月的某一天，将会发生的未来事情。比如2010年5月1日上海世博会开幕，2010年7月11日的日全食，还有2012年12月21传说中的世界末日，呵呵。你可以把你感兴趣的未来事情都输入到FT4当中，让它和你一

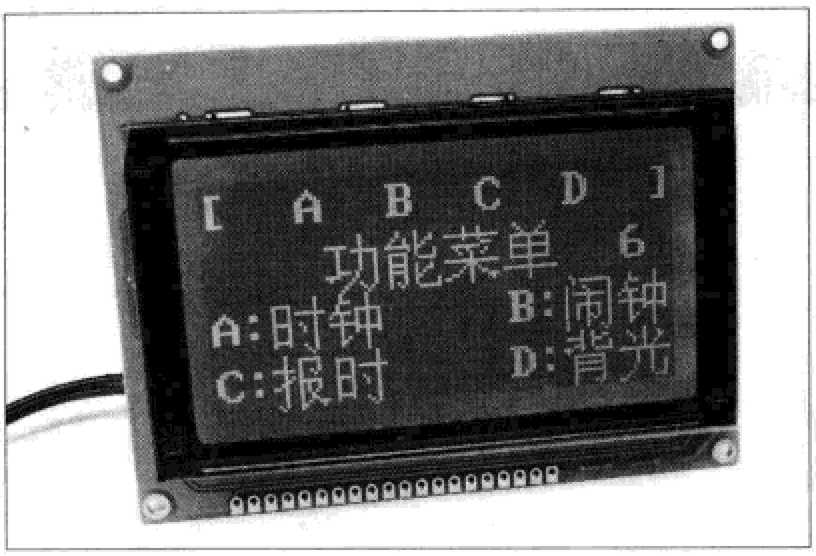


正面 | 背面

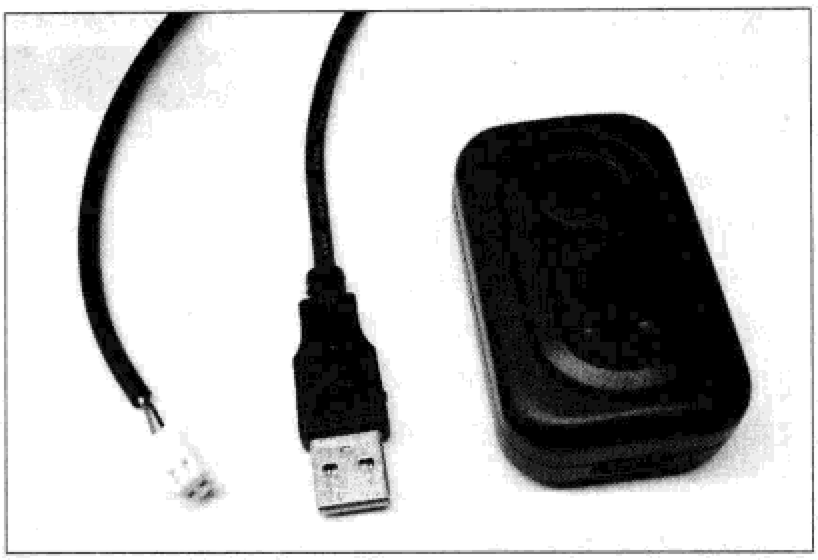
DY12864节日提醒电子钟



FT4显示界面



FT4未来时钟显示界面

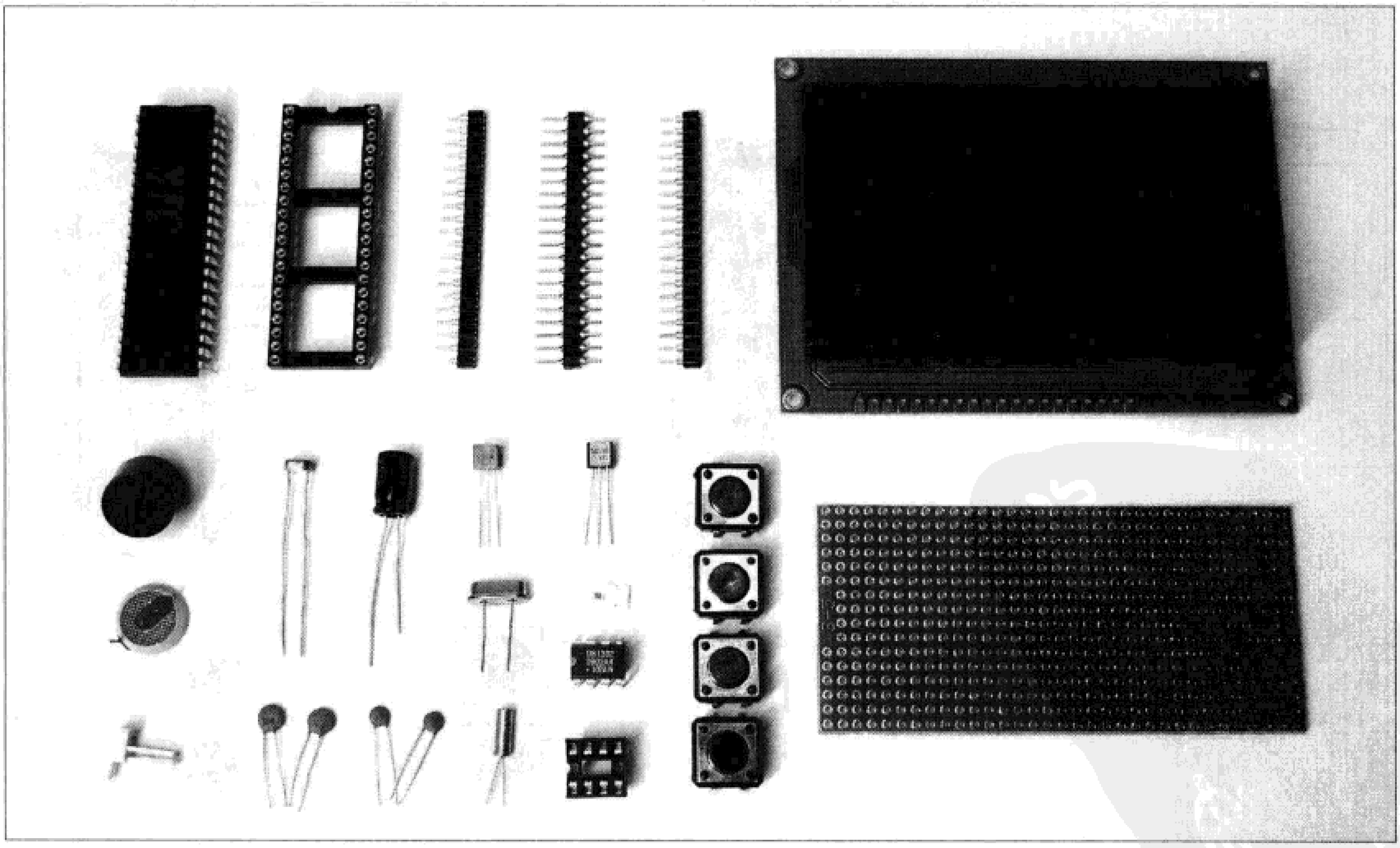


为FT4供电的5V电源适配器

起见证未来。

因为突出未来事情显示，所以在12864液晶屏的布局上也做了调整。把原来的最下方单行显示，改成了最上方的双行显示，可以同时显示两组不同性质的事情。除此之外，突破性的改进还在于增加了6个独立闹钟功能，每一个闹钟都可以独立设置，还可以设置工作日启动或周末启动。现在不仅有了闹钟，而且还是高级的闹钟。整点报时功能也不再单调，9种正点报时时间范围可供选择，当然你也可以关掉它。背光设置功能，提供了9级背光亮度，自动背光控制功能可以在环境光变暗时自动变暗背光，在晚上休息的时候背光不会影响入眠。FT4 V1.003版本还具有时间校准功能，如果我们没有买到DS1302芯片所需要配的32.768kHz 6pF的晶体的话，时钟的走时会有一定的误差，而有了校准功能，就可以每天加（或减）一定时间，达到走时准确的目的。

如果FT4是市场里面出售的制成品，对于电子爱好者来说就没有那么有趣了。正是因为我们可以动手制作，过程中才有个性的设计和成就感。我除了要设计FT4的功能，还要更多地考虑爱好者们制作的过程和可能遇见的问题。电路要



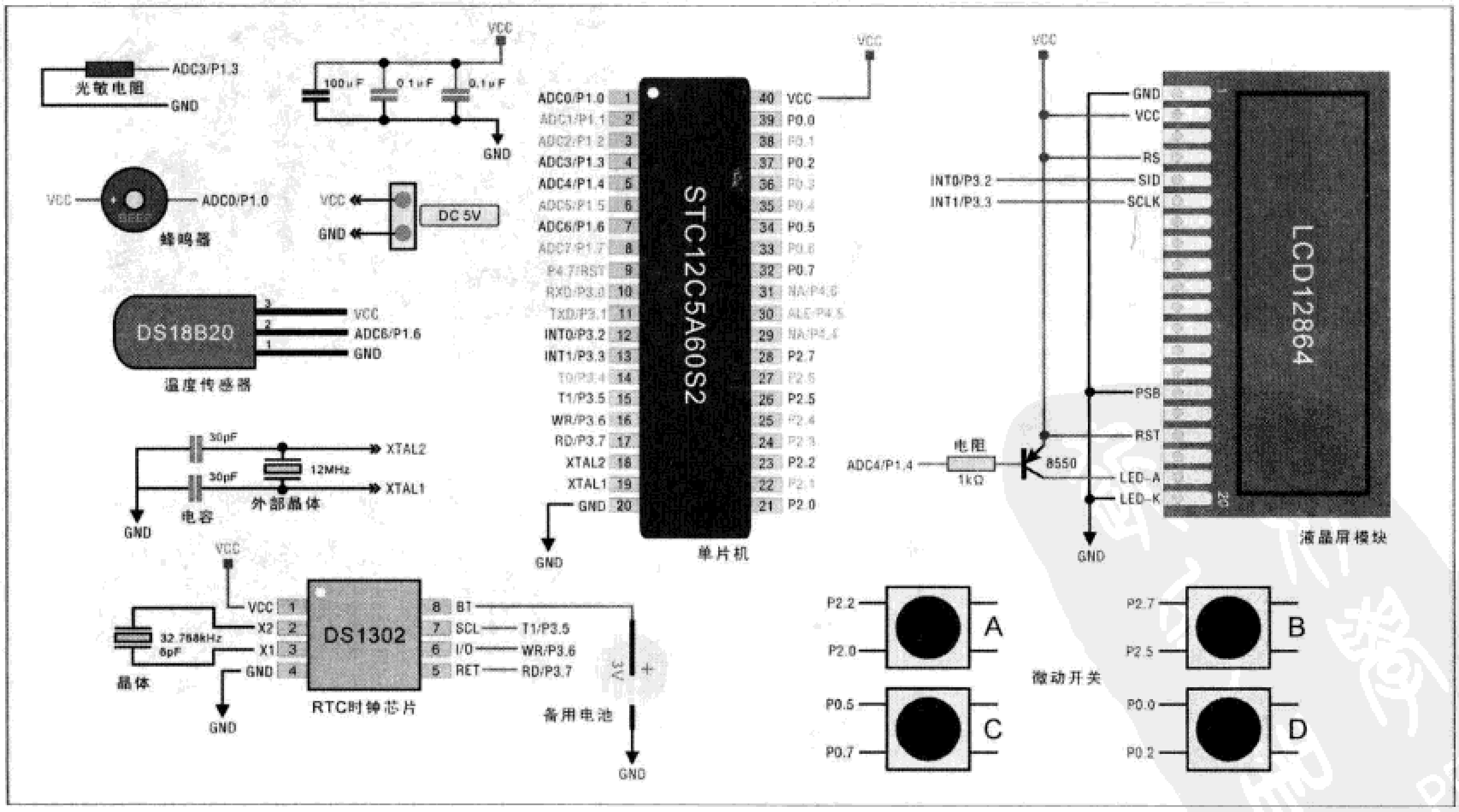
FT4未来时钟所需元器件

尽量简明易懂，结构要巧妙合理，外观要美观大方，制作要简单方便。随着下文对FT4制作过程的介绍，你会发现FT4的制作过程是多么的有趣，有一些巧妙的组装，会让你有惊喜的感觉，这也是杜洋工作室一惯的创新设计风格。不论你是第一次听说FT4，还是早已经动手制作了，我想这款好玩又实用的电子钟，定是你电子DIY的首选。走过、路过、千万不要错过。

照着元器件清单找来元器件，就可以开始制作了。购买时要注意12864液晶屏模块一定要有中文字库并且支持串行接口驱动才行。另外，不同的屏有其自己的灰度调整和背光电路，这方面的内容要参考液晶屏厂商给出的数据手册。我这里仅以我手上的这款屏为例，你在制作时需要多考虑一下你手上屏的实际情况。微动开关要选长和宽都是12mm的，这样才可以把他们焊接在单片机上面。洞洞板最好选择83mm×40mm的，要知道FT4的结构设计和洞洞板的尺寸有很大关系。排孔和排针是连接液晶屏和洞洞板的关键组件，用普通排针是不行的，一定要用军用产品才行。除非你不想按我的结构制作，不然就要买到军品排针、排孔哦。32.768kHz的晶体用来产生DS1302的时间基准，最好可以买到晶体内部匹配电容是6pF的产品，不然走时会有一定的误差。虽然FT4 V1.003版本的时间校准功能可以解决这个问题，但还是尽量在硬件上让时钟精确一些吧。还有些注意事项，我们一边制作一边说。

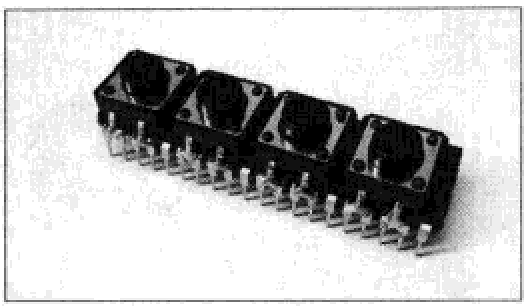
FT4所用元器件清单

品名	型号/规格	数量（PCS）	参考价（元）	说明
液晶屏模块	LCD12864	1	70.00	带中文字库和串行接口
单片机	STC12C5A60S2	1	12.00	35I-DIP40封装
时钟芯片	DS1302	1	4.00	SOP-8封装
温度芯片	DS18B20	1	8.00	TO-92封装
石英晶体	12.00MHz	1	1.00	
石英晶体	32.768kHz	1	0.60	晶体自身匹配电容6pF
电容	0.1μF	2	0.02	
电容	30pF	2	0.02	
电容	100μF	1	0.50	耐压值在16V以上
电阻	1kΩ	1	0.01	
扬声器	无源	1	0.50	尺寸大小可自选
三极管	8550	1	0.30	TO-92封装
微动开关	12mm×12mm×6mm	4	0.40	
钮扣电池	3V锂电池	1	2.50	可自选
光敏电阻	0~20kΩ	1	2.00	
电源适配器	5V 500mA	1	6.00	建议用USB接口充电器
电源接头	2PIN	1	1.00	可自选
军品排针排孔	2.54mm间距	20PIN×3	2.00	20PIN的排孔2条，20PIN的排针1条
洞洞板	83mm×40mm	1	2.00	



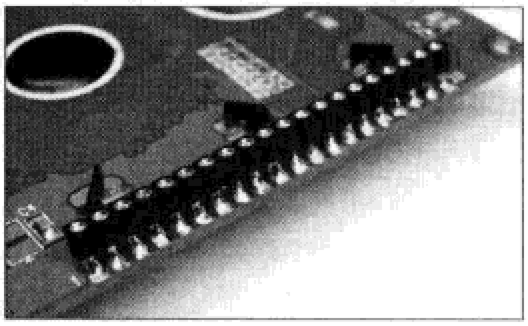
FT4电路原理图

第一步

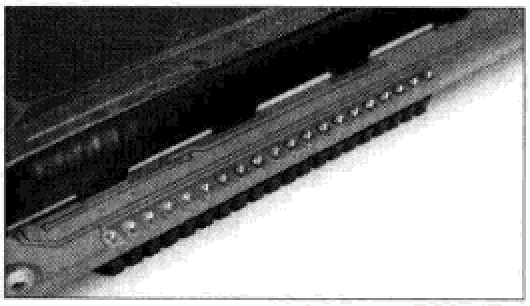


把4个微动开关剪去一侧的2个引脚，将另一侧引脚如图所示焊在单片机上。将微动开关直接焊接在单片机上的设计早在mini1608的制作中就用过了，但mini1608中剪去的是对侧引脚，本设计中是剪去同一侧引脚。余下来的引脚同时与2个单片机引脚焊在一起。4个按键正正好好地排列在单片机背面，好像为其量身设计的一样。请大家注意把按键引脚焊接在单片机21～40一侧的引脚上，别焊反了。

第二步

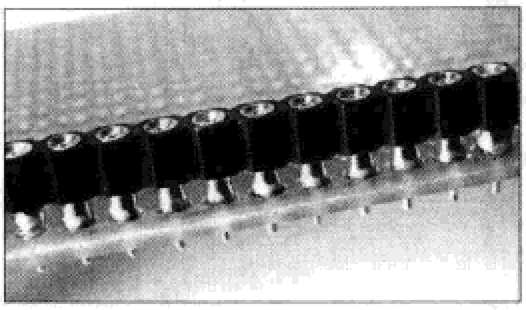


把军品排孔焊在液晶屏 PCB 的背面，并向内倾斜一定角度。这个设计是为了保证成品后的时钟正面没有焊接点，使它更加美观。但这一设计必须使用军品排孔，因为军品排孔的针脚端很细，可以弯曲一定的角度，可以让显示屏立于桌面时形成一定角度。



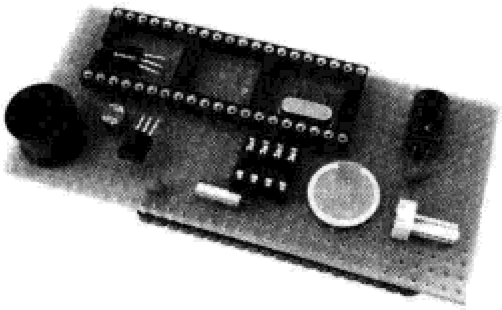
因为是在PCB背面焊接，所以正面没有焊点，显得很干净。

第三步



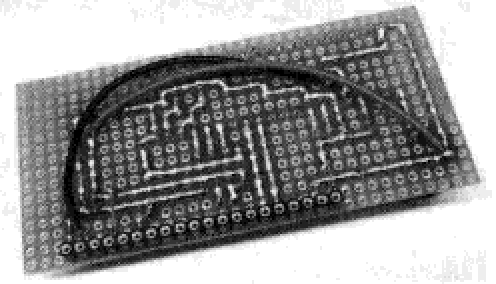
把另外一段20PIN的排孔焊接在洞洞板的背面，同样是在背面焊接。要特别注意排孔焊接的位置，因为只有正确的位置才可以保证在组装后使洞洞板居中、美观。焊接前最好先和洞洞板组装一下，调整好角度和位置再来焊接。

第四步



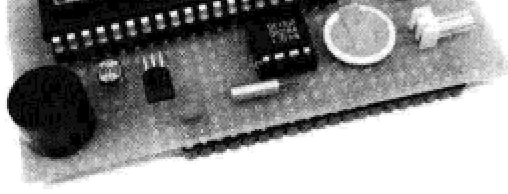
把元器件按上图的方式排列，注意美观、整齐。图片上的元器件布局是经过考虑的，这种布局可以让引线更短，制作更容易。背光驱动三极管、石英晶体、电容被隐藏在单片机芯片座下面。滤波用的电容也可以选择焊在洞洞板的背面，让正面的元器件更简洁。你也可以有自己的布局风格，只要你乐意。

第五步



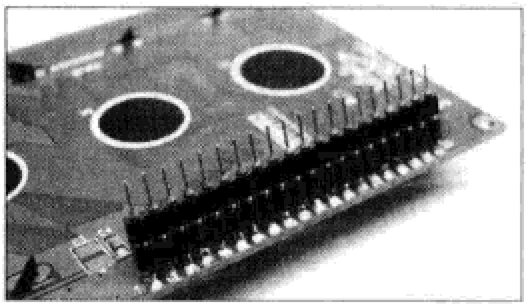
在洞洞板背面将元器件焊好。你可以用锡接过线，也可以用飞线连接，因为洞洞板和液晶屏中间有一段很大的空间，而且是隐藏的。不论你的焊接水平如何，在组装好后都是看不到的。不用太考虑走线美观，怎么方便怎么做吧。

第六步



插上单片机和时钟芯片。

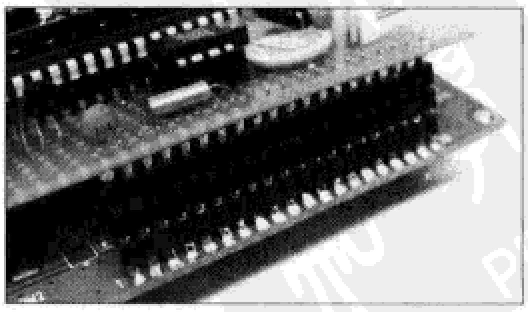
第七步

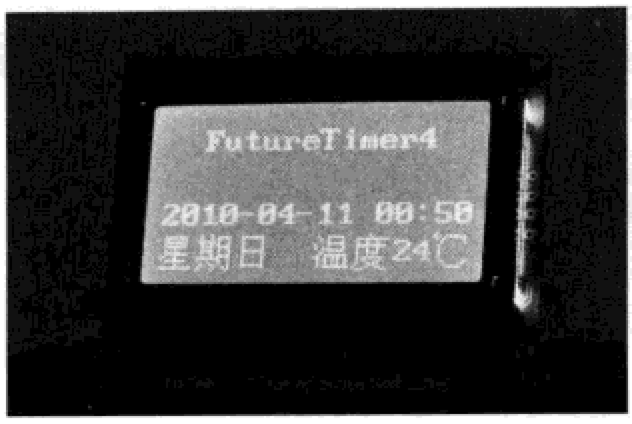


将军用排针的一端插入LCD屏这端的排孔里。

第八步

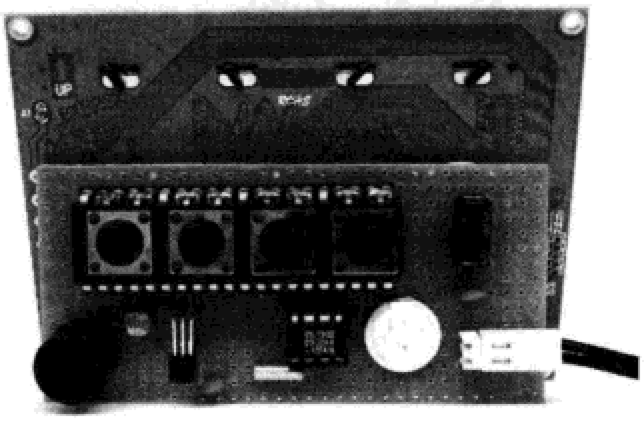
然后将洞洞板一端的排孔插在排针的另一端。FT4制作完成。





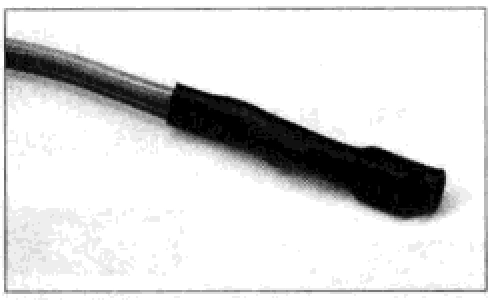
接通电源，屏幕上将会显示节日和时间信息，在不同光线下背光会自动调整

把组装好的时钟竖立起来，制作便完成了



时钟组装后背面的样子

时钟电路在工作时会发热，因此如果把温度芯片焊接在洞洞板上测试温度会有误差。可将温度传感器用20cm左右的导线延伸到时钟外边，这样就能得到更精准的温度值。



温度传感器

好了，8个步骤完成了FT4的制作。现在接通电源，看看时钟会不会如我们所愿地显示呢？在我的网站上发布FT4的资料已经有一段时间了，到目前为止还没有遇见因为设计上的失误导致制作失败的例子。更多的制作问题都是电路接线错误、液晶屏负压没有调好，还有一些单片机程序烧写时的问题。最关键的是液晶显示屏一定要在制作之前测试好，熟悉此液晶屏的接口定义和负压调整。当你对液晶屏的使用熟悉之后，再发现时钟不显示的问题才好去解决。不然，你也弄不清是单片机问题、电路问题还是液晶屏本身的问题了。另外，时钟电源的正、负极千万不能接反，不然你会杀了时钟芯片和液晶屏的，只有装有多重保护的STC单片机可以幸免。制作好的成品不能立在金属的表面上，不然液晶屏的引脚处就会短路了。如果放在可以反光的木质或玻璃桌面上，相信FT4会带给你科技感和前卫时尚。

创新设计

我的每一件作品都会有其独到的创新设计，那么FT4在技术上有哪些创新之处呢？让我最得意的当属FT4的结构设计，这是在不使用外壳的情况下，兼顾美观和易制的创新设计，让FT4小巧美观，独具个性。但除此之外我还在时钟的软件上下了很大功夫，增加了双行节日提醒、时间校对、独立闹钟、实时温度显示、背光调整、整点报时设置等功能，它已经完全是一个成熟、实用的商品了。

功能上的创新之后，我还有一项技术上的创新设计，那就是用I/O接口的推挽工作方式代替上拉电阻。首先，大家要知道，DS1302时钟芯片、液晶屏模块与单片机连接都需要上拉电阻，阻值从2.2～10kΩ不等的阻值。如果不加上拉电阻，那么通信线的数据就易受到干扰甚至根本无法通信。例如手指碰到液晶屏的数据线时显示屏上就会显示错乱的字符。大多数情况下我们都要乖乖地焊几个上拉电阻上去，可是为了让我们设计的电路精简，有没有什么办法省去这些上拉电阻呢？经过一些试验，我找到了解决的方法。

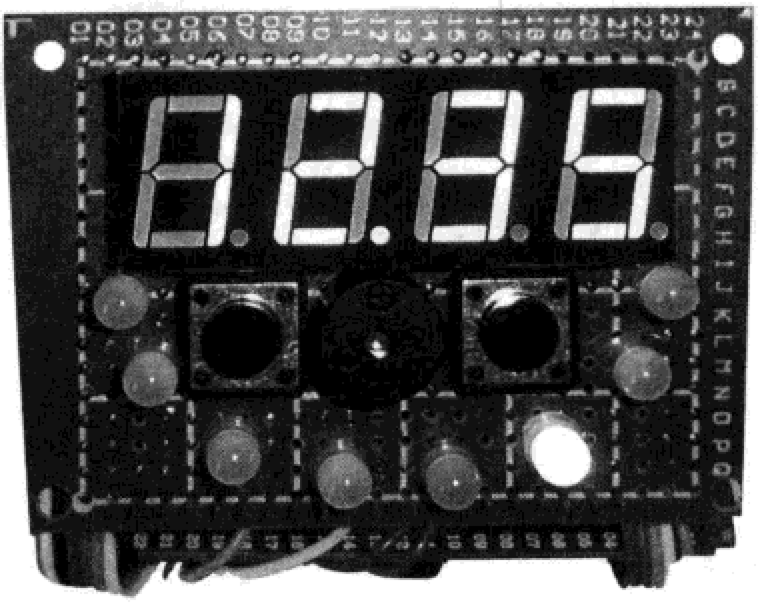
STC12C系列单片机是功能很强大的1T单片机，其内部的I/O接口具有4种工作方式。其中的推挽输出工作方式可以让普通的I/O接口拥有20mA左右的输出电流，用来驱动LED灯或其他用电器。试验中发现，推挽输出方式的I/O接口状态相当于普通的I/O接口上加了一个2kΩ左右的上拉电阻，也就是说我们可以利用这种工作方式来代替外加的上拉电阻。实际测试证明这个方法是可行的，推挽工作方式不会影响正常的通信，同时也让数据线的抗干扰能力增强。I/O接口工作方式的设置方法可以参考我之前写过的《mini1608电子钟 原理篇》的文章，还可以参考STC12C系列单片机的数据手册。凡是需要加上拉电阻的电路中，你都可以尝试用这种方法来代替。希望你可以将其应用心得和我交流，让这项技术应用更成熟、更完善。

FT4的背光亮度调整采用PWM技术，光敏电阻自动测光采用STC单片机内部的10位高速ADC来实现。这一些技术原理在我之前的文章中都有介绍，本文就不重复了。FT4未来时钟的HEX文件就放在《无线电》杂志的官网上面，想要制作的朋友可以下载、烧写。单片机只能采用STC12C5A系列产品，不能用传统的89C51系列代替。你在制作中遇见的任何问题都可以在网上向我提问。用百度搜索“杜洋”即可找到我了。FT4未来时钟功能丰富、实用，制作上简单而有创意。我可以保证，只要你是单片机爱好者，无论是在制作的过程中还是在日常的使用中，FT4都会带给你单片机制作的全新体验。Ⓦ

详解制作简易时钟 SmileClock

——每天看时间，自然要微笑

◎伍浩荣



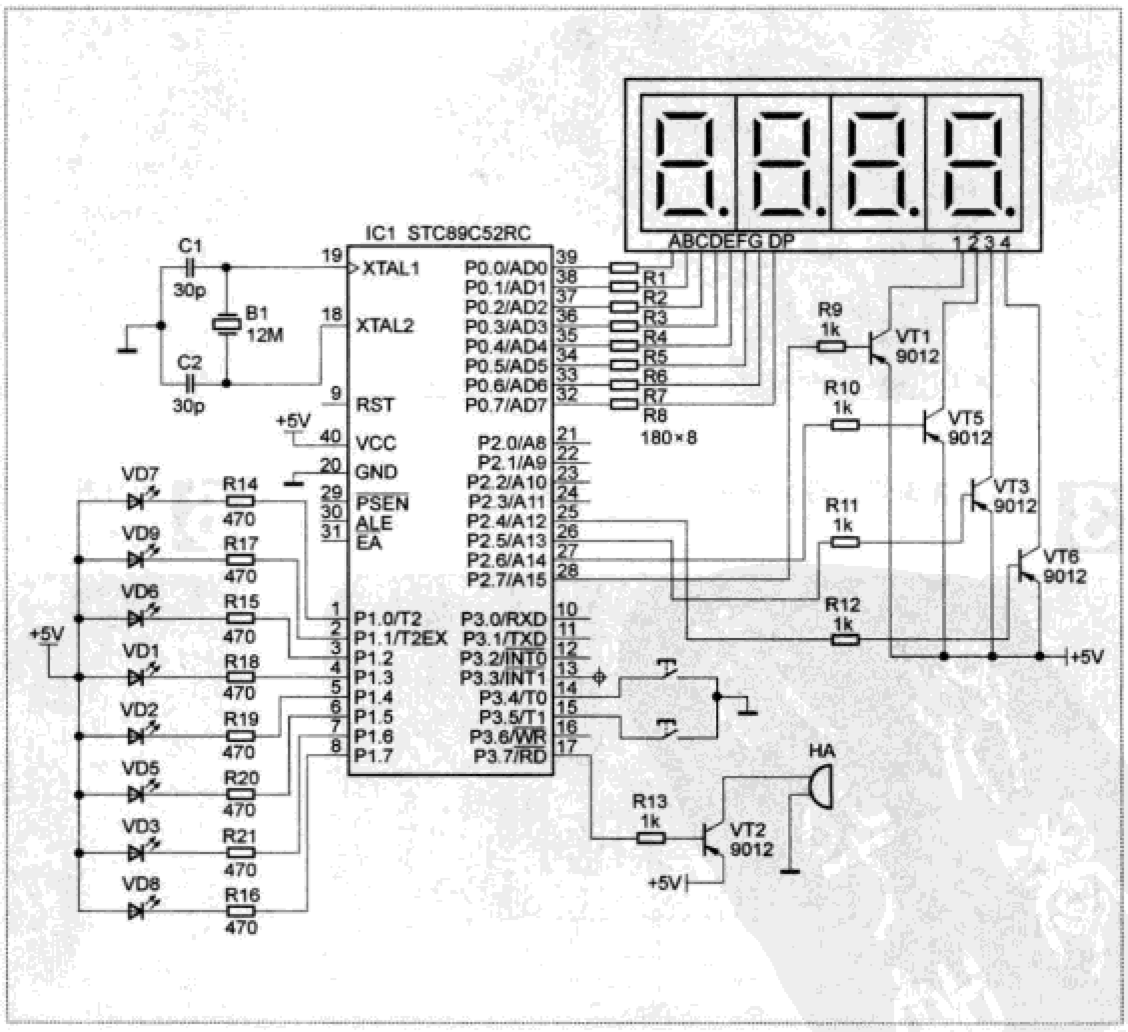
本文向大家介绍一款会笑的电子时钟。它采用4个数码管显示时和分，以中间点区分，中间是蜂鸣器，在半点到时会短促鸣叫1下，在整点到时会长鸣1下，以听声音区分时间。左右为按钮，分别用来调小时和分钟。下面的8个LED围成半圆，看，是否像在“微笑”呢？这就是这个作品名字的由来，SmileClock，灵感来源于电影《蝙蝠侠》中的角色“小丑”。

欣赏完这么有趣的时钟，接下来就跟着我一起动手制作吧：

一、硬件部分

首先你需要准备以下材料：

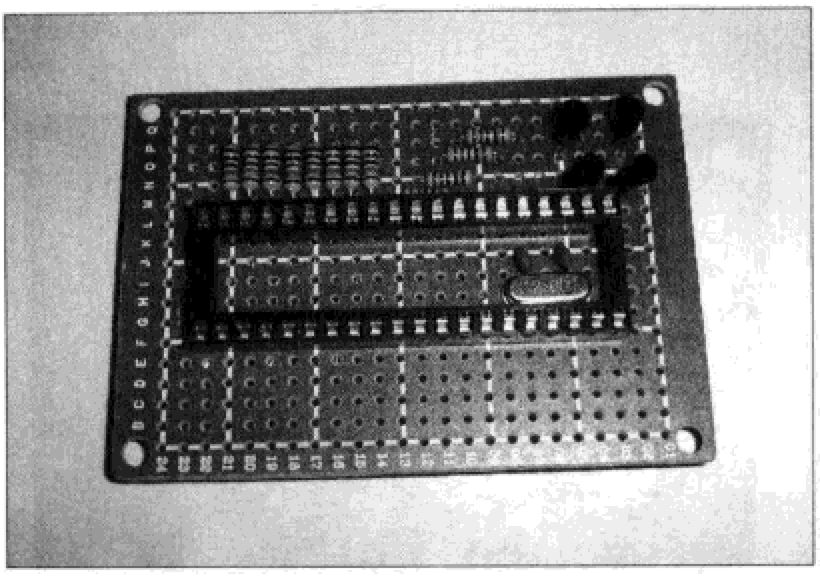
STC89C52RC单片机1个、40脚的IC座1个、12MHz晶体1个、30pF瓷片电容2个、4位共阳极数码管1个、5cm×7cm的万用板2块（也就是传说中的洞洞板）、弯成90°的排针1条、8个LED（可根据不同的爱好选用不同的颜色）、1个有源蜂鸣器（就是一通电就吵个不停的那种）、2个微动按钮（选用较大的，方便调时间，而且手感较好）、5个9012三极管（4个用来驱动数码管，1个用来驱动蜂鸣器）、1kΩ电阻5个、470Ω电阻8个、170Ω电阻8个、排线若干条。



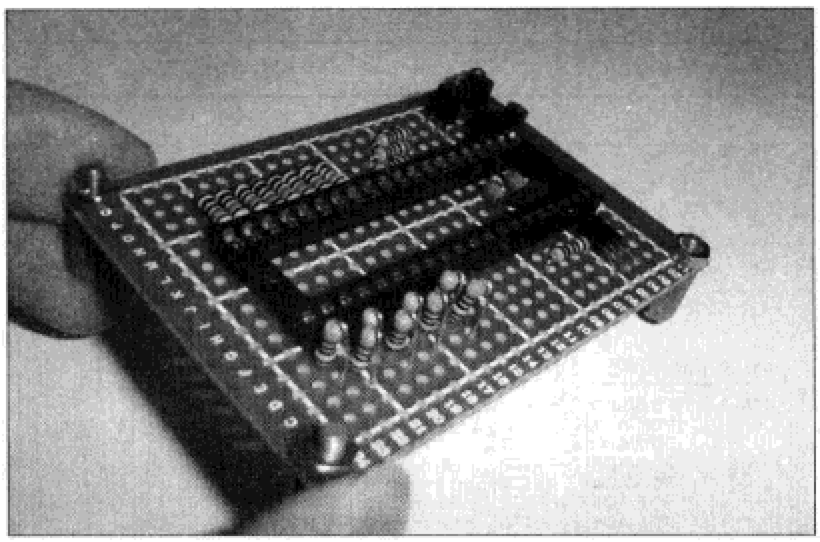
接下来，我们要用电烙铁、锡线等工具来搞一翻工程，蠢蠢欲动了吧？电路图如附图所示，包括晶体振荡器、数码管段位限流、数码管共阳极驱动、蜂鸣器驱动、流水灯和按键等部分。

下面，我就为大家演示实际焊接制作的过程。来吧，动手！

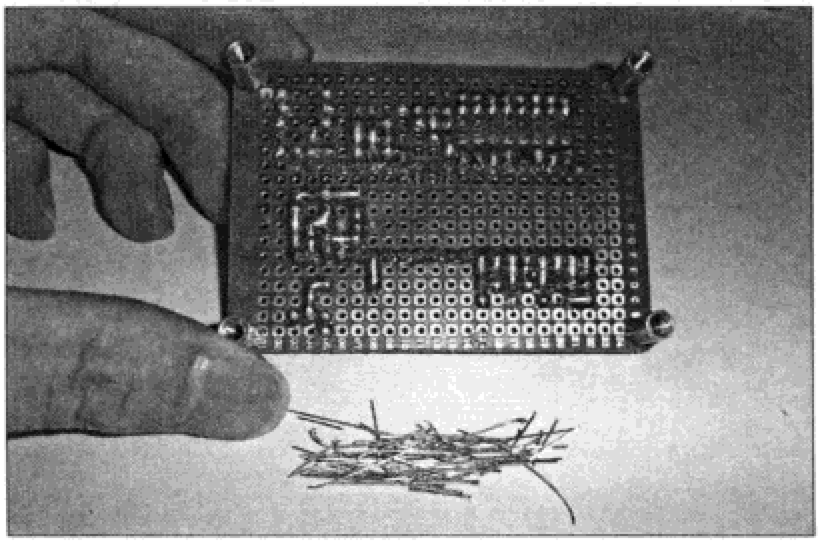
1 用万用板先焊接晶振部分，然后焊接数码管驱动部分，完成后如附图所示。



2 焊接其余的各个部分，注意P2组口排列顺序是相反的，实际焊接效果如附图所示，把电阻排成不同的形状，各自围着中间，看上去三极管像蚂蚁，电阻像虫子，如果放上单片机就像一条大蜈蚣了！！！昆虫大战？！

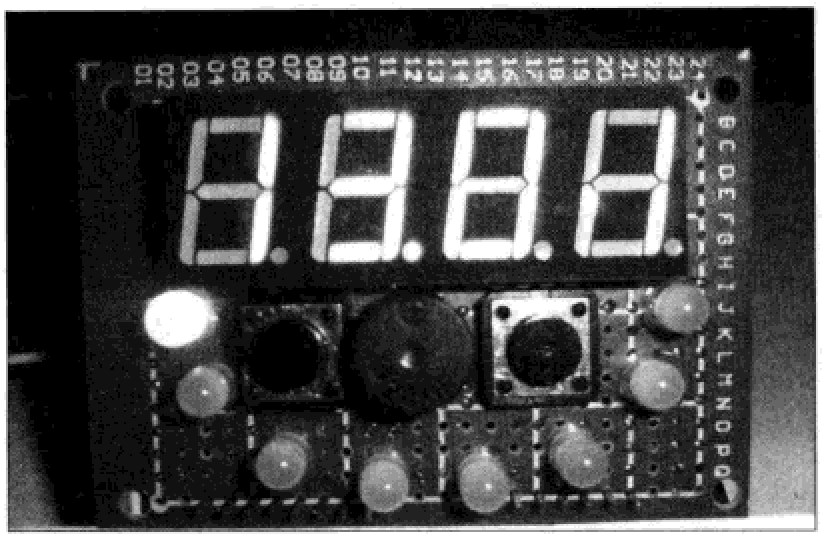


3 然后在背面焊上锡，并且把元器件管脚剪掉。

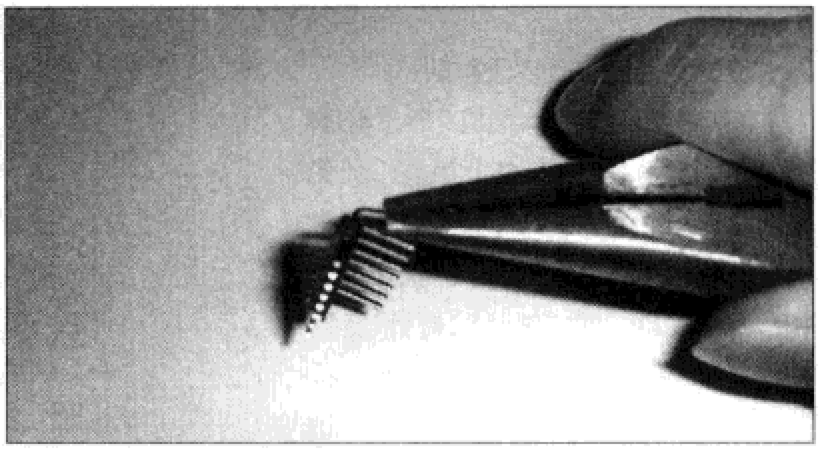


4 焊接完了一块万用板，是否有一点成就感呢？哈哈~别着急，先喝一口水，我们继续第2块万用板的焊接。

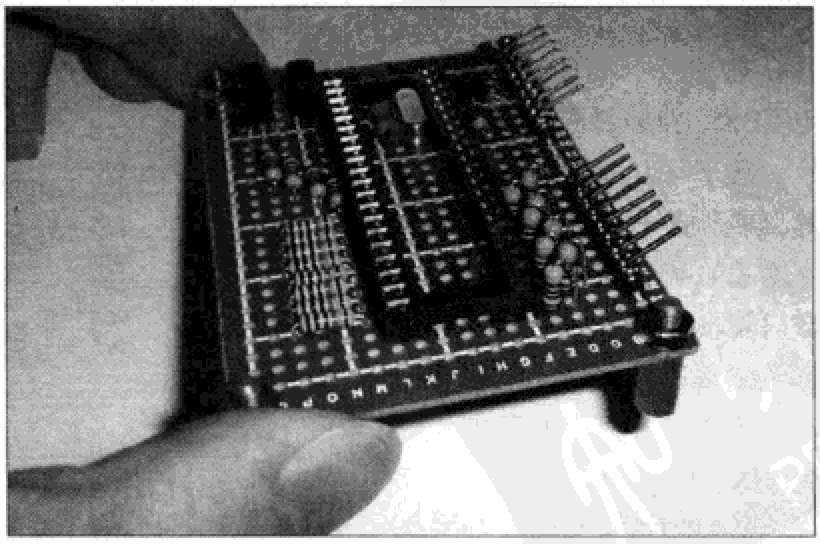
这个部分也很简单，按附图所示焊接上各个部分就OK了！要注意的是LED的正极最好焊接在半圆的外边，以方便后面的排线，蜂鸣器可不区分正负极。注意检查微动开关的导通，可以用万用表测量一下。关键部分的4位数码管使用之前要用万用表测量，然后记下每一个引脚所代表的段位！



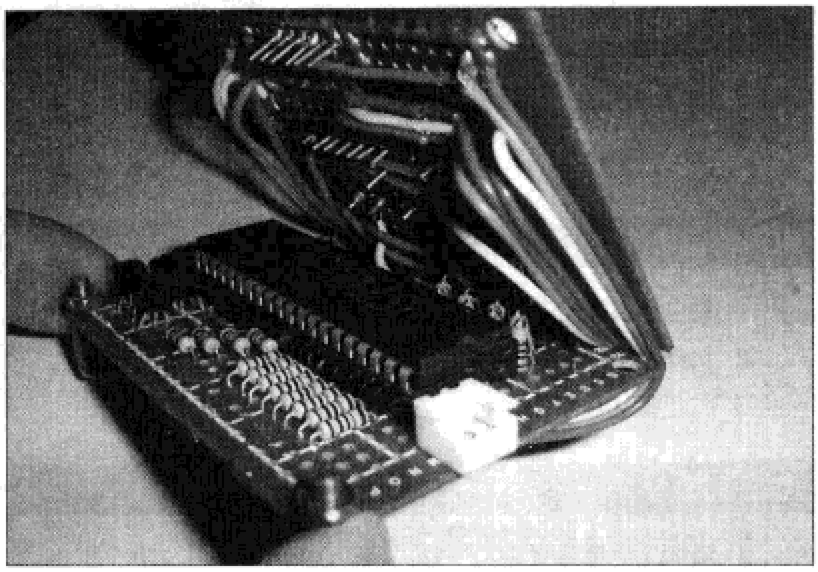
5 两块板完成了，接下来是把两块板连接起来，把2条8针90°的排针用钳子弯曲成大概120°，如附图所示。



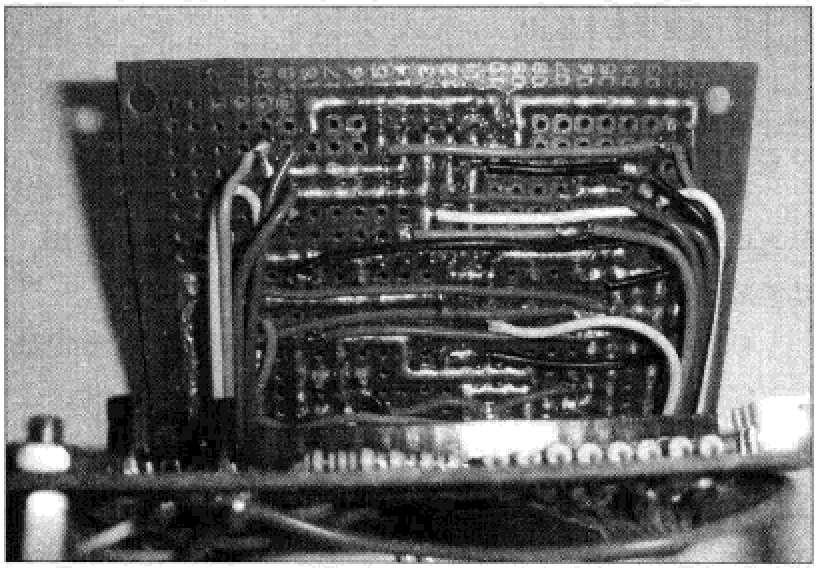
6 如附图所示焊接上排针，一条接在P1组口，并和流水灯限流电阻接上，另一条焊接在另一边，用于两块板的导通。



7 最后把两块万用板连接成60°角，如附图所示，以方便正面观看。



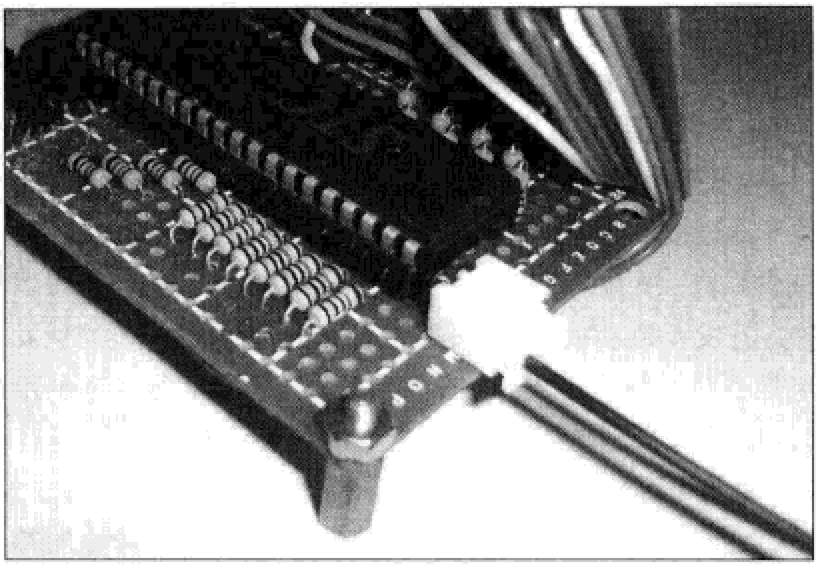
8 并按照电路图把剩下未完成的部分焊接上，如果没有空间的话就用排线连接，排线最好选用不同的颜色，然后各自的部分用一种颜色，这样焊接就没有那么容易错误了。附图为排线连接部分。



二、软件部分

编程部分难度不大，时间部分处理好每个数码管的进位关系就可以。流水灯是来回摆动的，可以用数组装入每个灯亮的编码，然后用中断按照每秒钟流动一次。报时部分分别判断整点跟半点的到来，如果要设置在某段时间段内报时就要另外设置一个标志，标志要跟小时保持一致。还要注意的是三极管9012是PNP型，基极为低电平时才导通，在编程的时候要特别注意，只要认真一步一步地编写下去，把出现的现象改过来，程序也自然出来了。然后在keil软件里生产hex或者bin文件下载到单片机里面就可以工作了，祝大家成功！

9 如果可以，还可以用白色杜邦插座焊接在正负极（也可以改成USB母头），用于方便地接上电源，见附图。这样，插上下载了程序的单片机，插上电源，闹钟就可以工作了！哈哈~有趣吧！



10 夜晚效果如附图所示。

作者自介

我，1989年出生，2009年上大学，爱好电子并自学单片机，以玩电子取代电脑游戏，一时投入了有趣的电子世界而一发不可收拾，时常废寝忘食。在学习基本知识后，想制作一个综合所学知识的单片机作品，于是把有限的器件投入了我无限的思维里。经过了长时间的编写程序和测试器件后，按捺不住心中狂热，在大脑全速运算中直到凌晨4点多微笑时钟终于出炉了！学习无止境，动手乐无穷，希望各位电子爱好者不要停止学习的步伐，努力实践直到成功！

太阳能光伏系统控制器

◎吴汉清

在气候压力日趋加大的今天，减少温室气体排放，提倡低碳生活方式已成为全球的共识。要实现低碳经济，除了通过技术创新、制度创新、产业转型等多种手段，尽量减少煤炭，石油等高碳能源消耗，并提高人们的节能意识外，开发新能源的应用是更重要的手段，其中太阳能光伏发电是主要的新能源之一。在业余条件下，读者很容易利用太阳能电池自己制作一套太阳能光伏发电装置，不但非常有趣，而且可以实现自己使用新能源的愿望。

业余制作的太阳能光伏发电装置一般不存在和电网并网的可能，因此需要在不用电的时候用蓄电池把电能储藏起来，需要用电时再使用蓄电池中储藏的电能，要实现这一功能就需要一个太阳能光伏系统控制器，本文介绍一款用单片机电路设计制作的这种装置。

硬件电路设计

本文介绍的太阳能光伏系统控制器使用额定输出电压为18V的太阳能电池板，配用12V蓄电池，太阳能电池板的功率和蓄电池的容量可根据实际需要确定，同时考虑到充电时间和用电时间的长短，进行合理搭配，如额定输出功率为10W的太阳能电池板配10Ah的蓄电池比较合适。

太阳能光伏系统控制器的电路见图1。电路由单片机电路、充电控制电路、放电控制电路等部分组成。

电路特色功能：

1. 蓄电池过充电与过放电保护；
2. 自动恢复放电功能；
3. 防止蓄电池与太阳能电池反接功能。

电路参数：

1. 最大充电电流（A）：≤5
2. 最大放电电流（A）：≤5
3. 蓄电池额定工作电压（V）：12
4. 太阳能电池额定输出电压（V）：18
5. 太阳能电池最大开路电压（V）：25
6. 过充电电压（V）：14.8
7. 过放电电压（V）：10.8
8. 恢复供电电压（V）：12.3

一、单片机电路

IC1、R9、C3等组成单片机最小系统电路，其中R9、C3为上电复位电路，IC使用PIC12F675，它虽然只有8只引脚，功能却比较强大，引脚见图2。

PIC12F675片内含1KB的Flash只读程序存储器、64B数据存储器RAM和128B的EEPROM，工作速度为0~20MHz，工作电压为2~5.5V。有6个具有复用功能的I/O引脚GP0~GP5。

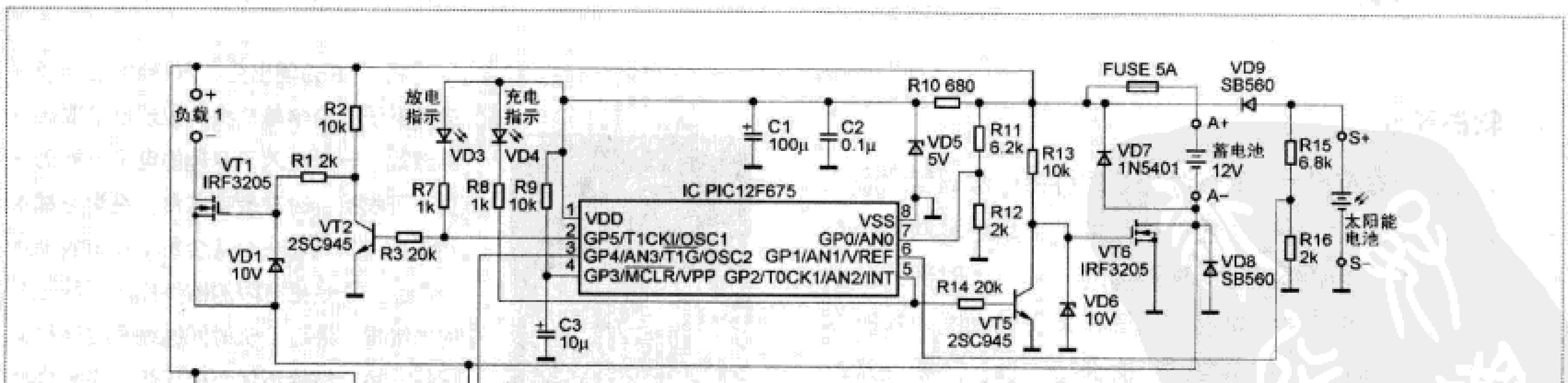


图1

PIC12F675可以选择外部或内部振荡器，这里使用了内部振荡器，工作频率为4MHz。片内有一个带有8 位可编程预分频器的8 位定时器/计数器Timer0和一个带有预分频器的16 位定时器/ 计数器Timer1，一个看门狗定时器，4通道10位A/D转换器，一个模拟比较器。

VT5、VT6等组成充电控制电路，当PIC12F675的GP2脚输出低电平时，VT5截止、VT6饱和导通，太阳能电池通过VD9、VT6给蓄电池充电。

VT1、VT2 和 VT3、VT4 等分别组成两路蓄电池放电控制电路，使用两路负载可增加使用的灵活性，当程序对PIC12F675 的 GP4、GP5 脚采取不同的控制时可实现不同的功能，比如 GP4 作常规控制，GP5 增加夜灯控制功能，只有在天黑以后蓄电池才对外供电。GP4、GP5 如果采用相同的控制功能，两个输出端也可以并联使用。以第一路（负载 1）为例，当 GP5 输出低电平时，蓄电池通过 VD8、VT1 向负载供电。

二、充放电控制器

本文介绍的控制器采用A/D转换的方式测量蓄电池的电压，即先把蓄电池的电压转换成数据，然后将测试数据和已储存的过充电电压、过放电电压、恢复供电电压数据进行比较，根据比较结果作出相应的控制。电路中R11、R12和R15、R16分别组成蓄电池和太阳能电池的电压取样电路，太阳能电池的电压取样电路在增加夜灯控制功能时使用。PIC12F675的GP0、GP1分别作两个通道A/D转换器的模拟信号输入端。

A/D转换器的参考电压选择单片机内部的V_{DD}，即5V作为参考电压。

R10、VD5、C1、C2等组成单片机5V稳压电源。

VD7、保险丝FUSE组成防蓄电池反接电路，当蓄电池接反时VD7导通，通过保险丝FUSE使蓄电池短路，烧断保险丝，从而蓄电池断路，起到保护电路和负载的作用。保险丝FUSE同时也起到过载保护作用。

VD9能防止太阳能电池板接反。

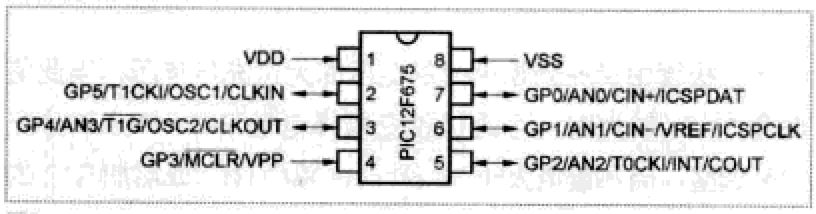


图2

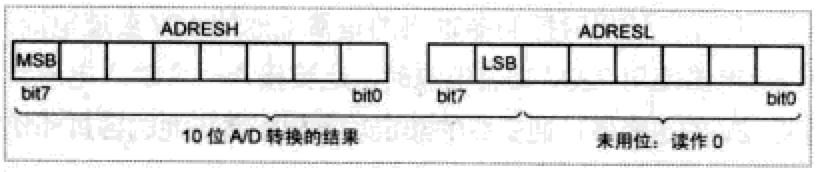


图3

三、工作过程

接上太阳能电池板和蓄电池后，电路的工作情况如下（设蓄电池的电压为U）：

充电工作情况：

当U≤14.8V时GP2输出低电平，太阳能电池对蓄电池充电；当U>14.8V时GP2输出高电平，蓄电池停止充电。

放电工作情况：

1. 当U由大于12.3V下降到10.8V前，GP4、GP5输出低电平，蓄电池对负载放电。

2. 当U≤10.8V时，GP4、GP5输出高电平，蓄电池停止对负载放电。

3. U随着充电逐渐上升，当U>10.8V时，电路并不立刻恢复蓄电池的供电，否则会在很短的时间内因电压下降又停止供电，形成一种振荡的供电状态，即一会通一会断，为了解决这一问题，设置了一个电压的回差，当蓄电池充电恢复到U>12.3V时，GP4、GP5再输出低电平恢复供电。

软件设计

程序在MPLAB IDE编译器中进行编译，使用汇编语言编写。程序由主程序、定时中断服务子程序、A/D转换子程序、延时子程序、数值比较子程序等组成。

主程序主要用来进行初始化，设置单片机的工作模式，将各种控制电压值写入有关存储单元。

定时中断服务子程序使用了定时器/计数器Timer0，Timer0使用内部时钟源，预分频器采用256分频。由于PIC12F675的内部振荡器振荡频率为4MHz，1个指令周期为4个时钟周期，因此一个指令周期为1μs，经256分频后Timer0的8位计数器TMR0计数脉冲的周期为256μs，因此如果它的初始值取61，则计满256个数的时间为256×（256−61）=49920（μs）≈50ms，即每过50ms产生一次中断。程序中设置了一个计数变量N，每中断1次计1个数，每计满20个数时测量一下蓄电池的电压，即每过1s测一下蓄电池的电压，程序根据测量结果发出相应的控制指令。

PIC12F675有4通道10位的A/D转换器，这里使用了AN0和AN1两个通道，转换结果10位二进制输出到ADRESH和ADRESL寄存器中，输出格式采用左对齐，即前8位存入ADRESH，后两位存入ADRESL，如图3所示。A/D转换器的参考电压为5V，能转换的最大模拟电压值就是5V，因此取样电路要使用分压电阻，当输入的模拟电压值为5V时转换结果为1023=1111111111B，这时ADRESH=11111111B=FFH，ADRESL=11000000B=C0H。以蓄电池电压取样为例，当其电压为14.8V时，经分压后GP0输入的模拟电压为12.8×$R12$/

（R11+R12）=12.8×2/（2+6.2）=3.61（V），对应的A/D转换结果为1023×3.61／5=739，程序中把每次检测蓄电池电压进行A/D转换值同739比较大小，当值大于739时即认为充电结束。程序中要用到的蓄电池各种控制电压值所对应的A/D转换结果见表1。

完整的程序和编译好的目标文件见《无线电》网站。

制作与调试

先将目标文件gfkzq.HEX写入单片机PIC12F675，按图4对有关配置位进行设置，具体烧写方法见《无线电》杂志以前的文章。控制器的印制电路图见图5，也可以使用万能电路板进行安装。元器件的型号规格和数量见表2。

图6是笔者制作的控制器实物（图中只装配了一路控制输出）。调试时主要是测试电压控制点是否准确，只要调准一个电压控制点，其他几个电压控制点也就基本准确了，这里选择调节过充电电压。由于控制器的A/D转换器的参考电压选择单片机的5V工作电压，因此5V稳压电源电压的大小影响到控制电压的精度，调试时用数字万用表测量此电压，误差较大（超过±0.2V）时应调换5V稳压二极管。

接下来在充电的过程中测量蓄电池的电压，当充电指示

表1

名称	电压（V）	A/D转换结果	ADRESH	ADRESL
过充电电压	14.8	739	B8H	C0H
过放电电压	10.8	539	86H	C0H
恢复供电电压	12.3	614	99H	80H

表2

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	单片机	IC	PIC12F675	1
2		R10	金属膜 1/4W 680Ω	1
3		R7、R8	金属膜 1/8W 1kΩ	2
4		R1、R4、R12、R16	金属膜 1/8W 2kΩ	4
5	电阻器	R11	金属膜 1/8W 6.2kΩ	1
6		R15	金属膜 1/8W 6.8kΩ	1
7		R2、R5、R9、R13	金属膜 1/8W 10kΩ	4
8		R3、R6、R14	金属膜 1/8W 20kΩ	3
9	电容器	C2	瓷片 0.1μF	1
10	电解电容器	C1	100μF/16V	1
11		C3	10μF/16V	1
12		VD1、VD2、VD6	10V稳压二极管	3
13	二极管	VD5	5V稳压二极管	1
14		VD7	1N5401	1
15		VD8、VD9	SB560（5A60V）	2
16	发光二极管	VD3	φ3 绿色	1
17		VD4	φ3 红色	1
18	三极管	VT2、VT4、VT5	2SC945	3
19	场效应管	VT1、VT3、VT6	IRF3205	3
20	集成电路插座		DIP8	1
21	保险丝	FUSE	5A	1
22	电路板		PCB板	1

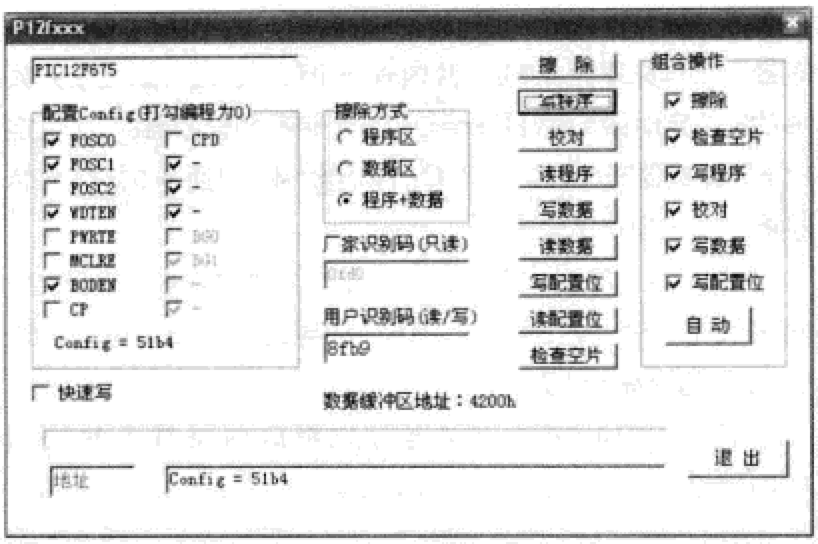


图4

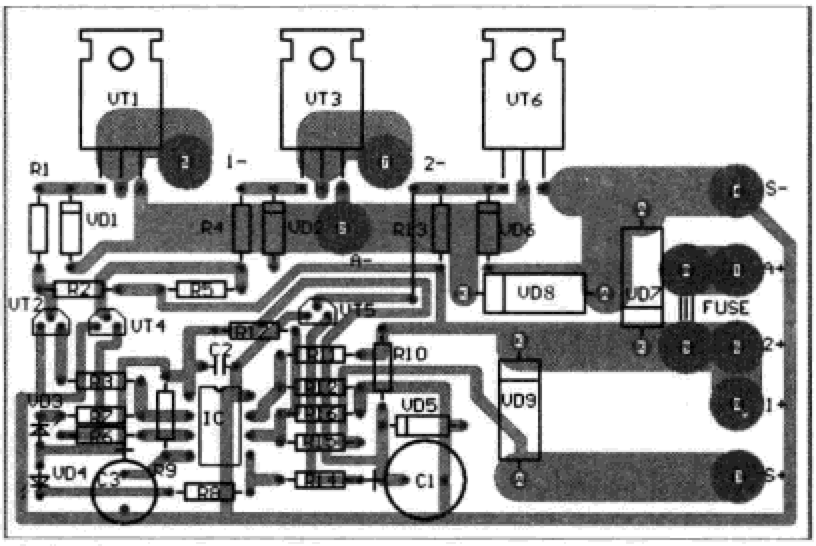


图5

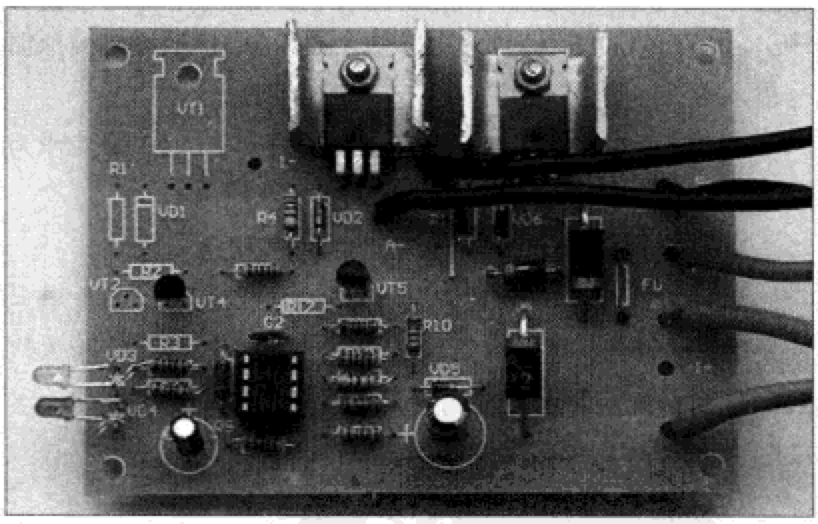


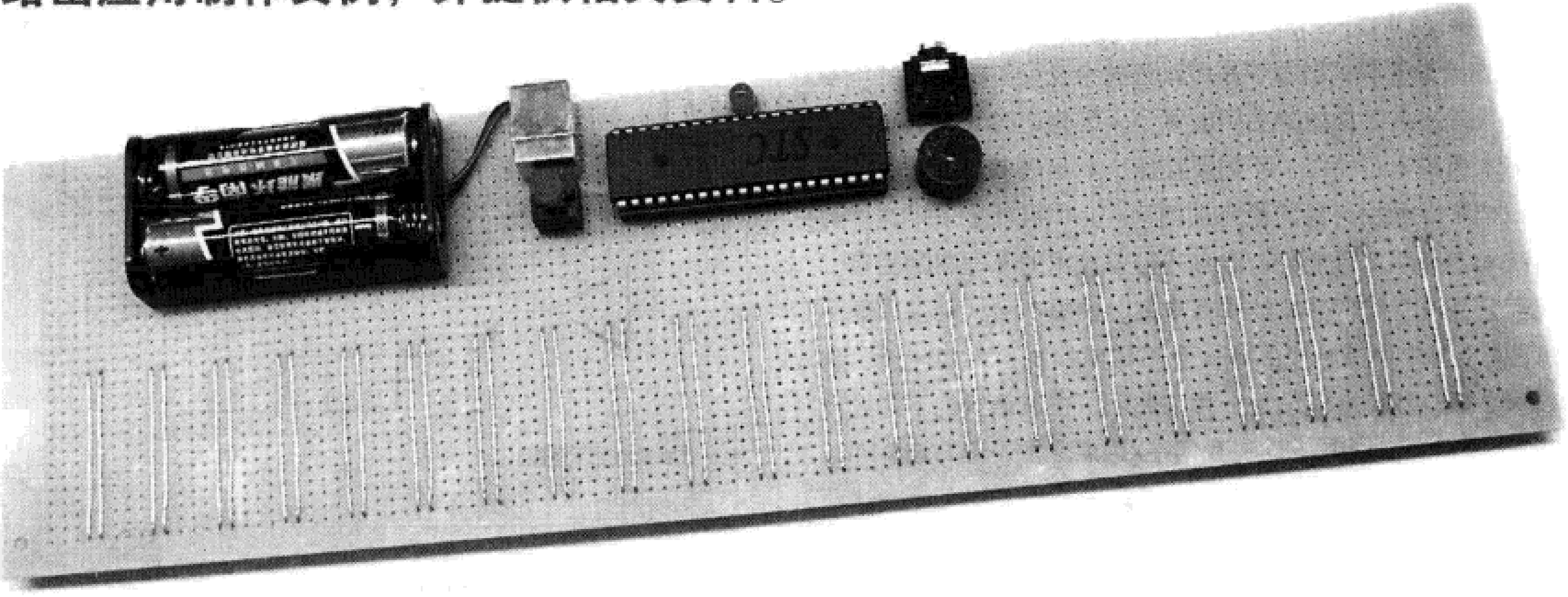
图6

发光二极管由点亮到熄灭时的电压即为过充电电压，当此值偏离14.8V较大时，可通过改变取样电阻R11、R12的分压比来调整，当测量值大于14.8V时，减小R11或增加R12的阻值，调大分压比；反之增加R11或减小R12的阻值，调小分压比。使用时控制器输出的是蓄电池的12V直流电源，当用电器使用220V交流电源时，还要接入一个输入电压为DC12V的逆变器，逆变器的额定功率根据蓄电池的容量和使用要求确定。

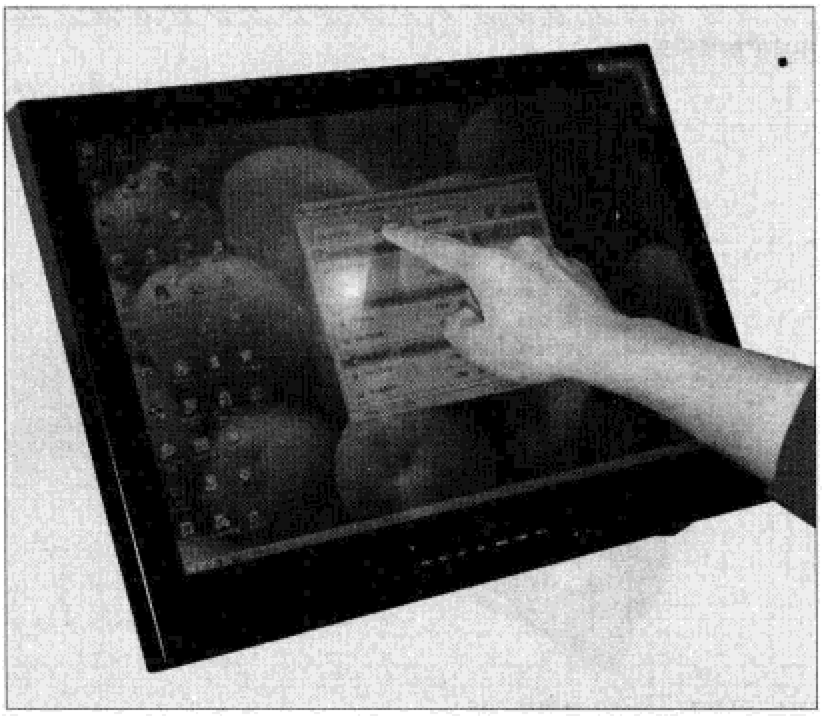
精简制作触摸操作（上）

◎杜洋

本文将介绍如何用精简的单片机电路实现触摸按键操作。给出应用制作实例，并提供相关资料。



记得第一次接触触摸操作是在1997年，老爸的一位好友新买了部摩托罗拉黑白触摸屏的手机。大人们吃饭的时候，我就抱着这台手机一直玩到没电，老爸的朋友心里不爽但也不好意思说什么。就是那一次我被触摸屏的神奇震惊了，轻轻点击屏幕上的内容就可以操作，全天下没有比玩这种手机再幸福的事情了，兴奋得我两夜失眠。我发誓长大后攒钱一定要买一部触摸屏手机。



具有触摸功能的电脑显示器

光阴似箭，13年后触摸屏手机满街都是，我用了2年的触摸屏手机现在也被我丢在一边了，再也没有重现当年的兴奋不已。不过对触摸技术的前景，我还是相当看好的。你有没有发现，现在这个时代正是传统的按键操作向触摸操作转变的过程。不管是手机、相机、电视机、电脑，还有许多家用电器都要改用触摸按键的操作。

作为普通消费者的你可以享受触摸操作的快乐体验，而作为电子爱好者的你是不是在为电子制作中触摸技术的落后而感到失落呢？除了传统电子制作中用烂了的触摸延时灯之外，有没有应用在高级制作中的触摸操作技术呢？我也一直在思考这个问题。

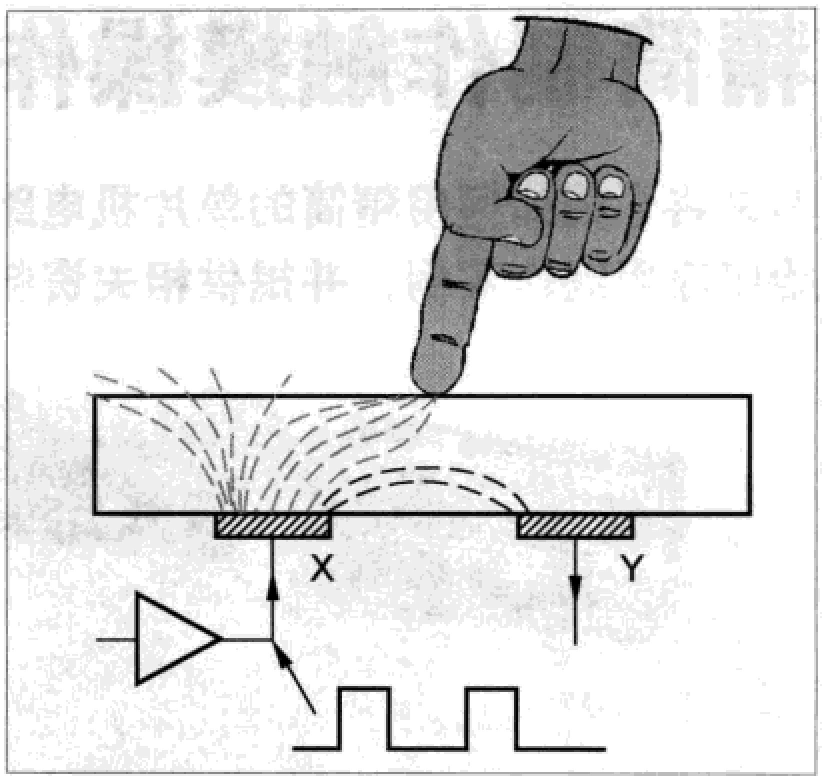
现有的触摸技术

先放下思考，我们来看看目前已有的触摸技术吧。所谓触摸板就是用手指轻轻地触及即可完成操作的输入设备。据我了解，触摸操作技术有电容式、电阻式、红外、声纳等，但是常用的就是电阻式和电容式的触摸技术。

电阻式多用在触摸显示屏上，是靠手指或笔尖按压屏幕上的一层电阻薄膜，在薄膜内部产生不同的横轴和纵轴的电阻值，这个电阻值经过专用芯片的处理，就可以得到触摸的位置了（如常用的电阻式触摸屏处理芯片ADS7843）。现在许多爱好者购买的带触摸功能的LCD模块，就是用的电阻

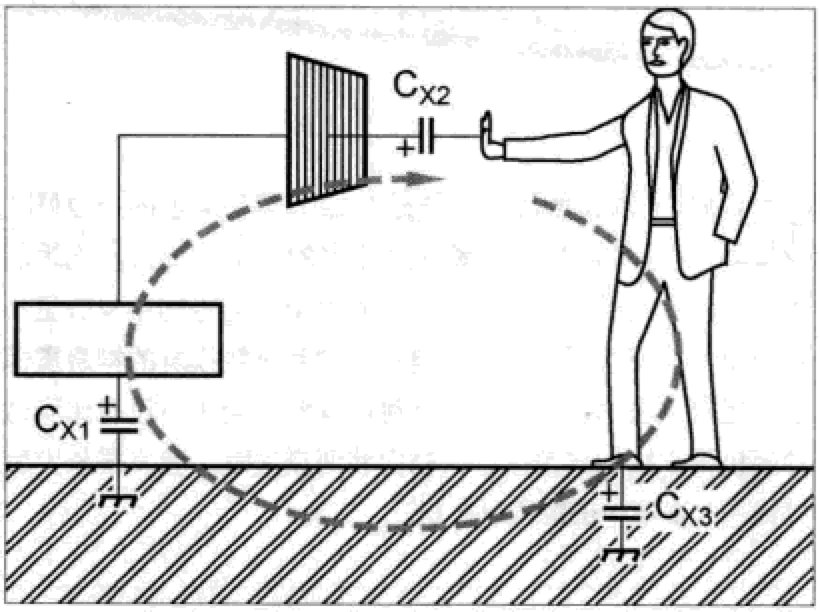
式触摸屏。不过，依我看来电阻式触摸技术其实应该叫薄膜式触摸技术更准确。也就是说我们触摸的一层薄膜，在我们按压薄膜的时候，其内部电气特性产生了变化。好像市场上现在有一种微波炉就是把按钮制作成薄膜的样子，商家也称它是触摸控制板。这么看来，薄膜式触摸还需要按压才能触发，它和微动开关的原理相似，它只是将按钮结构变成薄膜的形式罢了。

如果说薄膜式触摸仅是微动开关杂交变种的话，那电容式触摸就是纯正血统的名门世家了。因为电容式触摸是利用人体本身的电容特性，不需要按压，而且隔着玻璃、PCB板也一样可以触发。目前最先进的iPhone手机就是采用这种触摸技术。有朋友可能会对电容式触摸技术的原理感到困惑，其实它并没有我们想象的那么复杂。请看电容式触摸原理示意图1，图中手指触摸的是一个不导电的材料，如玻璃、塑料板之类，我们就假设是一片玻璃吧。在玻璃板的下面设计了2个触点——X和Y。现在我们在X触点上加一个方波脉冲，也就是交流电压。如果没有手指接触玻璃板，那么X和Y这两个触点之间的电容值很大。当有手指触摸时，X触点的交流脉冲将会跑到手指上，这个不难理解，电容的特性就是通交流阻直流，因为X触点有交流脉冲，自然就会被传到手指上了。再加上手指又和Y触片产生一定的电容特性，所以X和Y触点间的电容值就会变小。现在我们只要有一个芯片可以读出Y触点的电容变化，不就可以判断触摸操作了吗？如果把无数个X和Y触点排列起来不就可以操作触摸屏了吗？笔记本电脑上的触摸板也是采用这种电容式触摸技术，在一个塑料板的表面轻触就可以控制鼠标了。



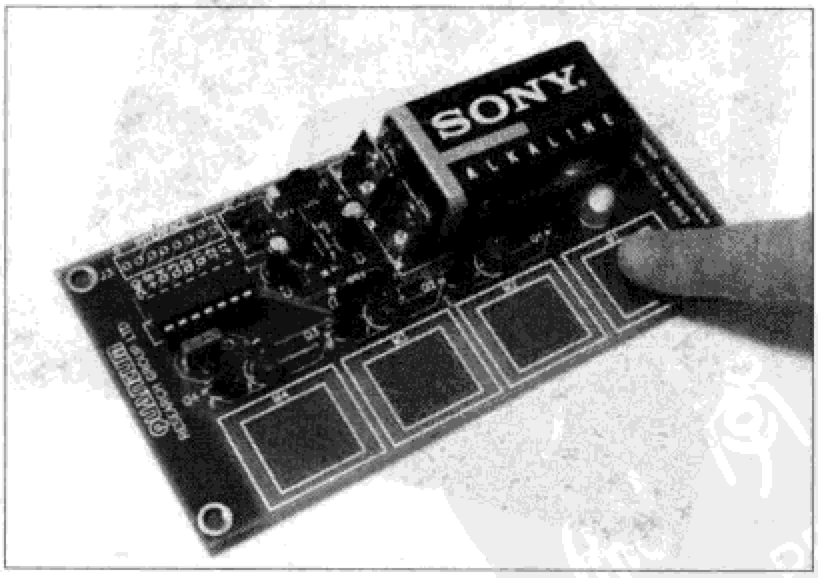
电容式触摸原理示意图1

除了这种电容式触摸技术之外，还有一种对地的电容式触摸按钮。这次就不是手指和两个触点的故事了，而是手指与触点之间、伸出手指的帅哥与大地之间、电器设备与大地之间的综合电容关系了。在电容式触摸原理示意图2中你可以看到Cx1、Cx2、Cx3之间形成了一个电容环路。触摸芯片只要计算这个环路的电容值变化也就可以实现电容触发了。这种电容式触摸方法可以应用在独立触摸按钮上，例如触摸式电灯开关。通过两种电容式触摸技术的原理可以看出，电容式触摸需要一个芯片来处理电容值的变化，来判断按键是否触发。

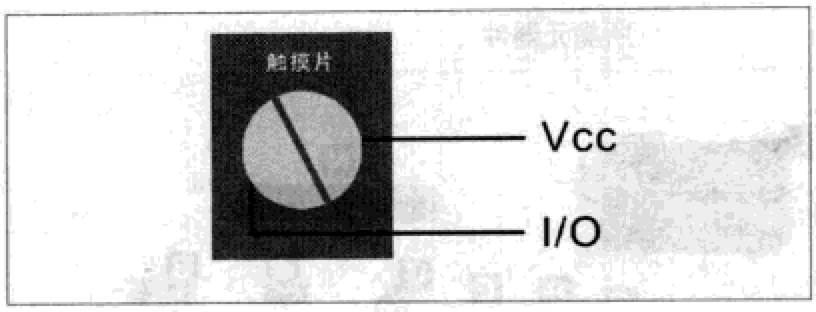


电容式触摸原理图2

目前这种人体电容触摸技术已经很成熟了，市场上也有了专用芯片，只是价格较贵而且不容易买到。QT160系列就是一款高性能的电容式触摸按钮的处理芯片。有直插和贴片多种封装，支持1~8个独立触摸按钮的操作。用这款芯片制作的触摸按钮板的PCB背面设计了一个金属片，而在PCB的正面什么也没有，但触摸正面的对应位置就可以点亮对应的LED。这就是电容式触摸的神奇效果。



QT160系列芯片制作的触摸按钮板



辅助手指触发设计的触摸片

另外我还提到了红外线及声纳方式的触摸技术，但本文就不介绍了，我自己还没弄明白呢，以后学会再和大家分享。最后再介绍一种比较草根的触摸技术——电平式触摸。每一位电子爱好者都应该听说过触摸延时开关吧。凡是什么电子制作300例之类的书中都会介绍。触摸延时开关就是用手触摸一个金属片，电灯就会点亮，过一段时间会自动熄灭。这款制作的电路简单、功能实用，还可以轻松体验到触摸操作，相信90%的电子爱好者都制作过。电平式触摸就是让手指直接接触金属片，利用人体微弱的电流来触发电路。与电容式触摸相比，电平式触摸显得有些野蛮。直接触摸金属片确实会让人胆颤心惊，说不定哪一天灯泡没有点亮，却把自己给点亮了。总之，电平式触摸技术比较简单，不需要专业的计算和处理。

我和单片机登场

轻轻地我来了，和单片机一起轻轻地来，我轻轻地挥手，轻轻地触摸一个开关。若是本文仅介绍现有的触摸技术，恐怕那是纸上谈兵。电容式触摸芯片还没有普及，价格太高又不易买到。有没有一种简单易制的电路、一种稳定可靠的方法来实现触摸操作呢？能否只用单片机，在不添加任何外围电路的情况下实现触摸操作呢？

5年前的我还在深圳打工，业余时间里做一些单片机小实验。某天傍晚，我正在用AT89S52单片机调试一个程序。单片机的P0接口接了一片1602的液晶屏，其他接口也胡乱地接了一些按钮。调试时突然发现一个问题，液晶屏上显示的信息不稳定，时常会出现显示乱码。而且当我用手触摸P0接口的时候，乱码现象变得更严重了。这是怎么回事呢？于是我上网搜索资料，终于找到了答案。原来AT89S52单片机的P0接口内部没有加上拉电阻，所以P0接口一直处于开漏状态，也就是说P0接口更容易接受外界微弱的电平，更容易受到手指的干扰。解决方法就是在P0接口上加一个10kΩ的上拉电阻，P0接口被强制拉到高电平了，稳定性也就自然高了。解决问题的当时我很开心，以后再使用P0接口时我都会毫不考虑地加上电阻。可是我怎么也没有想到，这一次出错的经历成全了我和单片机精简触摸技术的缘分。看来我们真的不应该因失败而苦恼，正是有了失败我们才能发现新的现象，正因为失败才能成就新的成功。我们需要失败，我们更需要细心发现失败中的灵光闪现。

后来的某一天，当我准备用单片机制作触摸按键时，那一次出错的经历回放在眼前。既然没有加上拉电阻的P0接口可以被手指干扰，那么我们能不能利用这种干扰来实现触摸呢？说时迟那时快，想到此处马上飞身投入实验。最开始我是用很简单的程序“P0 = P1;”把P0的状态送到P1接口，我在P1接口上接了8个LED灯，用来显示电平状态。可是当我触摸P0接口时却没有得到想要的效果，手指触摸没有任何“干扰”。事情有时就是这样，当你不需要它的时候它总出现在你的眼前，可是当你需要它的时候它却消失不见。我想其中一定有一些我也不了解的秘密，于是我又重现当年液晶屏显示的电路，终于发现了技巧。原来在读P0接口状态之前，先要让P0接口输出一个脉冲，而且这个脉冲的高、低电平的宽度需要是一个特定的值。这一点让我很不理解，难道这和电容式触摸技术有什么联系吗？不过实际的效果就是触摸有效了，那是我第一次实现了单片机的电平式触摸。

后来接触了STC单片机，它的I/O接口有4种工作方式，其中最让我兴奋的是高阻输入工作方式。当I/O接口被设置到高阻输入状态时，I/O接口就是纯电平输入了，在接口悬空时为低电平，当有手指触摸到I/O接口时，手指上的微弱电流会使I/O接口跳变到高电平，只要读出I/O接口的电平高低就可以了解是否有触摸操作了。这种特性要比AT89S52单片机P0接口的开漏状态要好得多。因为高阻输入方式的电平触摸按键更灵敏，在I/O接口引出一片用于触摸的金属片就可以，而且不局限在P0接口上，因为STC12系列单片机的任何一个I/O接口都可以设置为高阻输入状态，这样一来我们就有了更大的开发自由度。

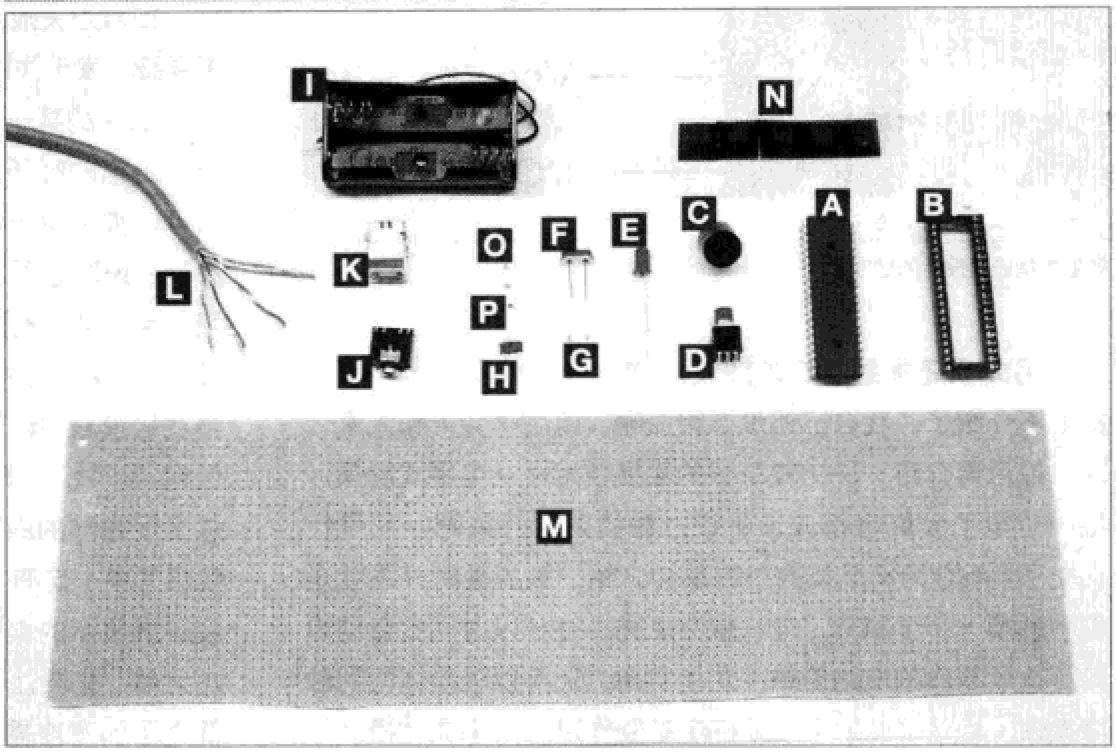
因为这种触摸方式需要手指直接接触金属片，所以我叫它单片机电平式触摸按键。电平式触摸的实现非常简单，只要把STC单片机I/O接口设置成高阻输入工作方式，然后就像开发普通按键一样处理触摸按键，加一段按键去抖程序也就可以了，不需要复杂的编程和调试。可是简单必有简单之不足，有的时候手指上的电流太微弱了，不能触发开关。于是我想了一个主意，就是把电源VCC用线引出来，与触摸输入的I/O接口平行放在一起。在手指触摸时就会同时触摸到VCC端，VCC是5V的高电平，可以增强手指的“干扰”能力，让每一次触摸更有保证，不会因为“身体虚弱”而不能触发。在下面制作的触摸键电子琴中就是用到了这个设计，效果还是不错的。另外来自电源端的干扰也是一个问题，如果使用滤波差的电源为单片机供电，触摸按键就会受到干扰，有时按键会自己触发，如果设计了多个触摸按键，它们之间也会

因电源的不稳定而相互干扰。目前我还没有好的解决方法，所以目前我制作的触摸按键作品都是采用电池供电的，因为电池是纯直流电源，没有滤波干扰的问题。不过要想让电平式触摸按键应用到市电供电的系统中，就需要在触摸按键处理程序中下功夫，通过程序判断电源干扰并屏蔽它。我在不断研究和实验，相信不久后我将完美解决这个问题。敬请关注！

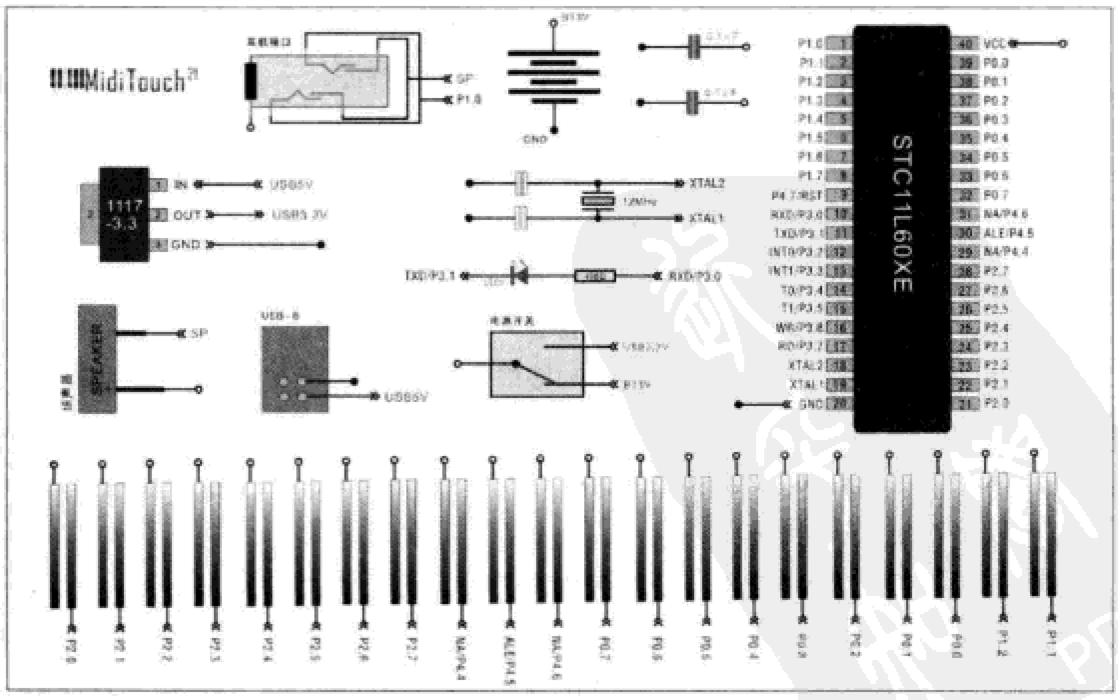
制作MIDI Touch 21触摸键电子琴

用单片机制作电子琴的文章在《无线电》上已经见过N次了，可是触摸按键的电子琴应该还是第一次。本文充分发挥“现学现用”的精神，把我们刚刚学到的单片机电平式触摸技术用在这架电子琴上。触摸按键将带给你电子琴操作的全新体验，不像微动开关那样费力地按压，只要轻轻地触摸、轻轻地弹。所以我为这件作品取名MIDI Touch 21（简称MT21），意思是21个触摸按键演绎MIDI音乐。制作MT21时，我设计了电池和USB供电两种方案，在实际测试的过程中发现使用电池供电时触摸按键的反应较好，而使用USB接口供电时会有拉长音的情况，这就是我上文提到的电源干扰了，大家还是用电池吧。另外需要注意的是制作中采用了3V单片机（STC11L60XE），使用2节5号（AA）电池供电。因为3V单片机不好买到，你也可以改用5V单片机（STC11F60XE），电池改成3节5号电池，效果是一样的。单片机不可以用AT89S52之类的单片机代替，因为它们没有高阻输入功能，但可以用STC10、STC11、STC12系列的1T单片机代替。好了，闲话少说，开始制作！

所需元器件

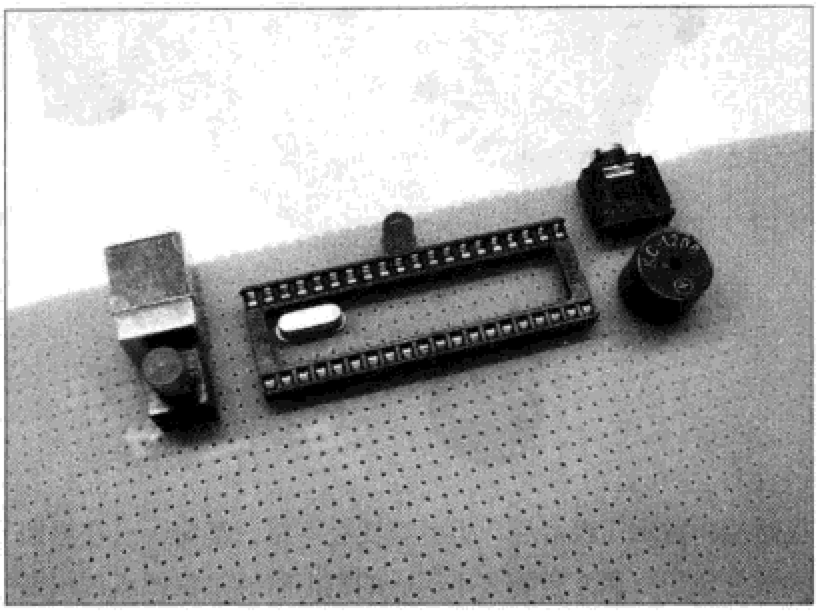


序号	品名	数量	参考价格(元)	说明
A	STC11L60XE单片机	1	10.00	可用 STC12C5A60S2 代替（电源改用 5V）
B	40PIN芯片座	1	0.30	
C	扬声器	1	0.50	
D	自锁开关	1	1.00	
E	LED灯	1	0.10	电源指示灯
F	12MHz晶体	1	1.00	
G	30pF电容	2	0.03	
H	1117-3.3V稳压芯片	1	3.00	只用电池供电时可不用
I	电池盒	1	1.00	2节5号电池
J	音频接口	1	1.00	
K	USB-B接口	1	1.00	只用电池供电时可不用
L	超5类以太网线	若干		没有网线也可以用其他铜线代替
M	洞洞板	1	12.00	洞洞板应尽量选择大尺寸的
N	橡皮脚座	5	0.50	
O	0.1μF滤波电容	2	0.03	
P	470Ω电阻	1	0.20	

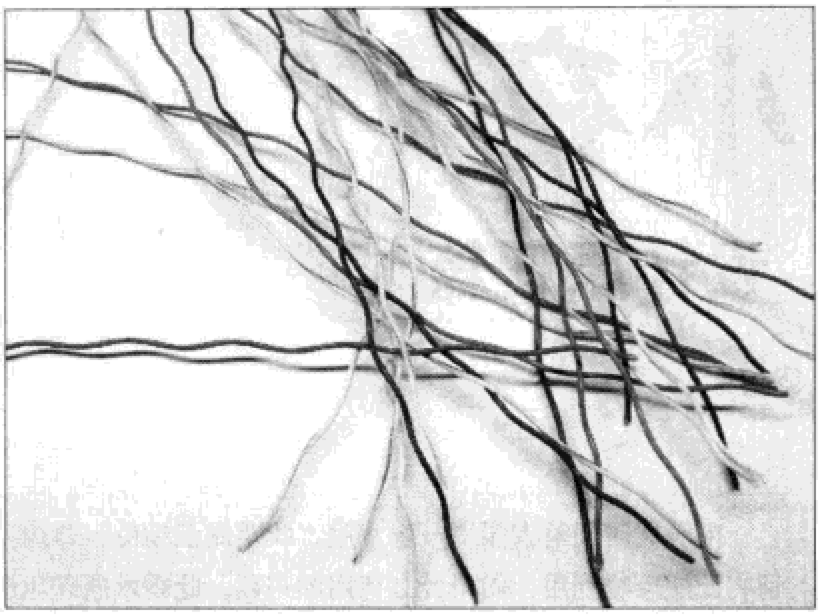


电路原理图

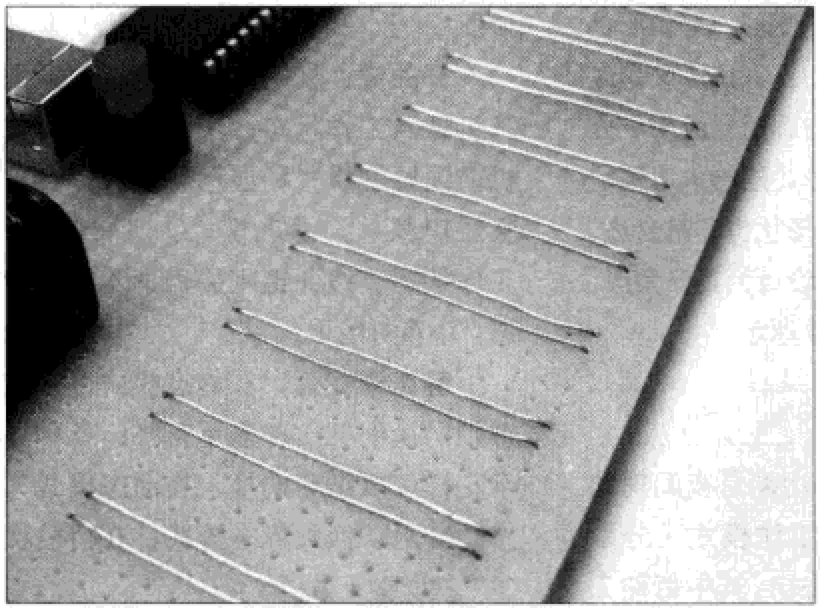
先焊接除触摸按键之外的其他电路部分。建议你只用电池供电，这样可以保证触摸稳定，电路又简单。如果你同意我的看法，那就不用焊接USB-B接口和1117-3.3稳压芯片了。



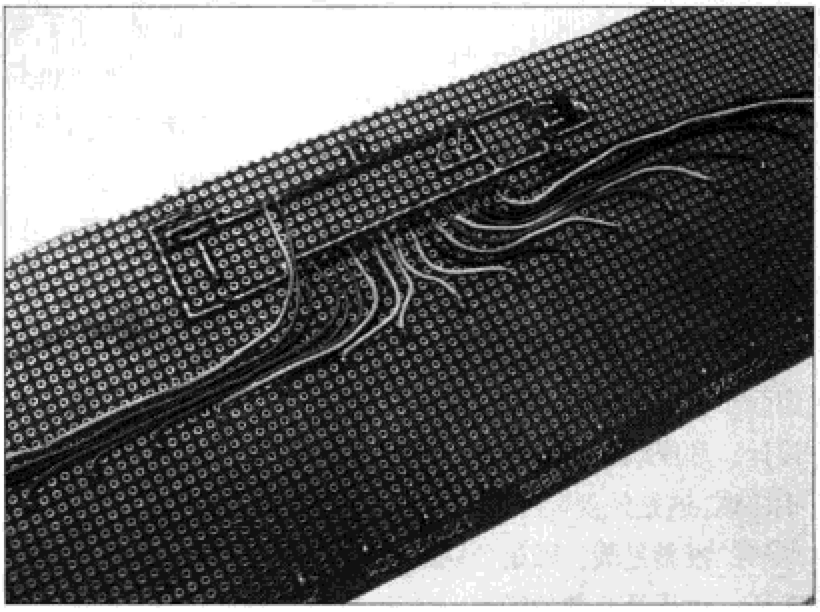
剪开网线，抽出8根“小网线”，剥开“小网线”并露出一部分铜丝，用于手指的触摸，未露出的部分就当作飞线用了。



把铜丝整齐地排列在洞洞板的正面，注意I/O接口的线和VCC端的线要平行排列、尽量靠近。每组触摸按键之间要留有较大的距离，防止误操作。



洞洞板的背面把网线焊接在对应的I/O接口上，走线要尽量短而整齐，这样可以防止干扰。



放入电池，打开开关，指示灯点亮，触摸下各音符试试，还可以用手指从左到右、从右到左扫键试试。如果一切正常，那就开始弹奏，体验触摸操作的乐趣，发挥你的音乐天赋吧！想参考电子式触摸按键的编程方法，想了解MT21电子琴的程序原理，请到《无线电》网站或杜洋工作室网站下载MT21的HEX烧写文件和源程序文件。

下期预告

这一期中我们介绍了现有的触摸技术及基础原理，又让大家分享了我用单片机实现的电平式触摸的发现过程和原理。最后以MIDI Touch 21触摸按键电子琴作为制作实例，让每一位电子爱好者都可以轻松制作触摸按键的作品。如果本文介绍的内容就让你感到满足，那么我就不配做一个完美主义者了。因为电平式触摸还有一些问题没有解决，而前文说的电容式触摸又更具吸引力。那么，做过大量实验的我，能不能用单片机的精简电路实现隔着玻璃的高稳定性电容式触摸操作呢？电容式触摸操作的原理和程序设计又存在多少玄机？下一期中要介绍的又是什么神奇制作？欲知谜底为何，且听下回分解。

个性七彩小夜灯

设计原理篇

◎刘宁

前一段时间笔者偶得一香水瓶，此瓶做工精良、玲珑剔透。虽然瓶内香水已经用尽，但丢弃实在可惜，笔者一直在想如何将此瓶废物利用，做个什么有用的东西。此香水瓶无色透明，大致为球形，表面布满大小不一的气泡状装饰性凹点，根据这些特点不断想象，最终笔者还是觉得用它来做小灯罩最为合适，不仅利用了其能够透光的特性，还利用了其装饰性凹点能够反射和折射光线的特性，这样的“灯罩”可以使灯具有很好的视觉效果，当灯光颜色变化时更是交相辉映、绚丽多彩。既然想到了就赶快动手，免得创意“溜走”，经过几天的努力，制作了这款颇具个性的七彩小夜灯。

一、外观设计

为了方便制作，也为了更具有个性，本小夜灯摒弃了外壳，在结构上也没有作太复杂的设计，仅是简单地采用了“灯罩＋底座”的形式，其中底座就是各部分电路的电路板。

灯罩为球形，这是已经确定的，因而小夜灯外观的设计主要就是底座的设计。底座既要突出个性，又要与灯罩相协调，这是外观设计时一定要考虑的。球形的投影是圆，圆是公认的最完美的图形，也是最简单的图形，从简洁、大方的设计角度出发，与之组合的图形也应该是一个非常简单的图形。三角形是最简单的多边形，其中正三角形又是最完美的三角形，将之与圆组合起来十分协调。此外，正三角形还能给人以稳定的感觉，底座采用这种形状也非常合适。因此，本小夜灯的底座设计为正三角形，整体外观俯视图如图 1 所示。

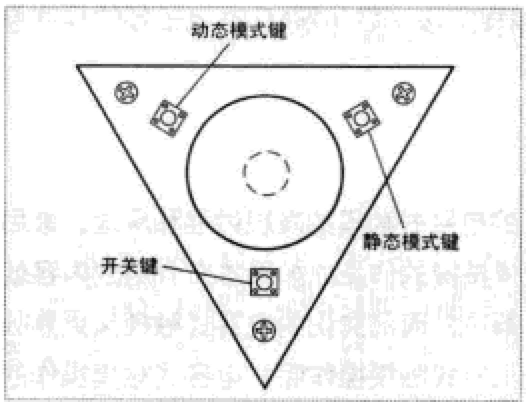


图1 外观俯视图

二、功能设计

本小夜灯的主要功能是夜间辅助照明，它设计有2种工作模式，分别为静态模式和动态模式，其中每种工作模式又有26种显示花样可选。静态模式下灯的颜色、亮度等状态始终不变，动态模式下灯的状态按一定规律循环变化，各模式下不同显示花样对应的灯的状态将在后面软件设计中详细介绍。由于灯的颜色、亮度和显示花样能够灵活改变，所以本小夜灯也可以作为节日彩灯来使用。

本着使用方便、操作简单的原则，本小夜灯设计了3个按键，分别为开关键、静态模式键和动态模式键，如图1所示。各按键的功能如下：

开关键：在待机状态下按此键则开机进入工作状态，小夜灯按上次关机前设置的模式和显示花样工作，首次上电默认为静态模式、花样0，在工作状态下按此键则关机进入待机状态，小夜灯熄灭。

静态模式键：在静态模式下按此键则切换到下一种显示花样，各种显示花样可以循环切换，在动态模式下按此键则切换到静态模式，在待机状态下按此键无效。

动态模式键：在动态模式下按此键则切换到下一种显示花样，各种显示花样可以循环切换，在静态模式下按此键则切换到动态模式，在待机状态下按此键无效。

因采用低功耗设计，待机电流甚微，所以无需设计单独的电源开关。

三、原理分析

本小夜灯的灯罩非常小，因而灯罩内的灯（即光源）的体积也不能

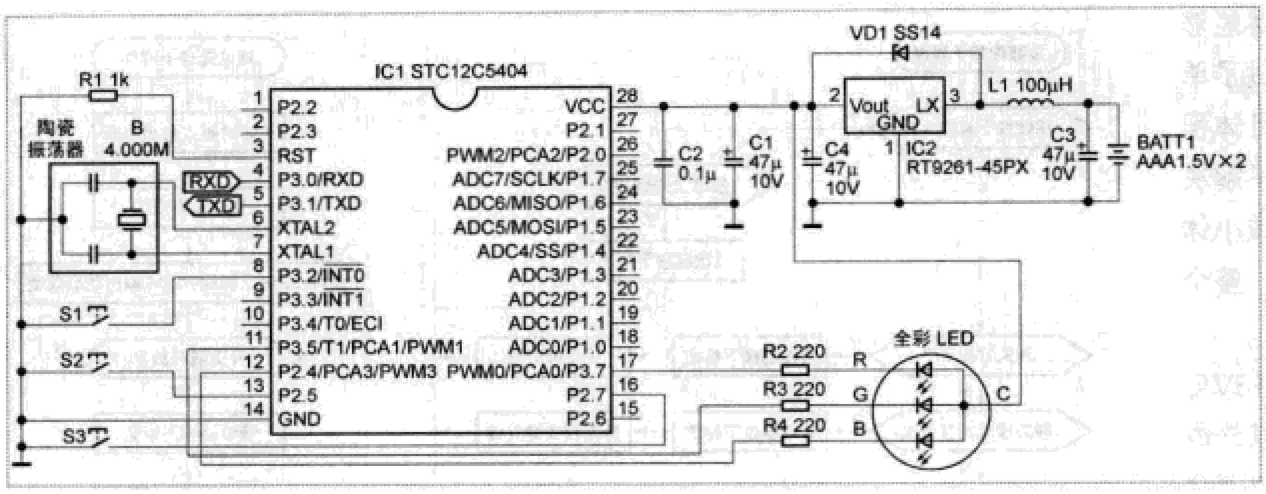


图2 电路原理图

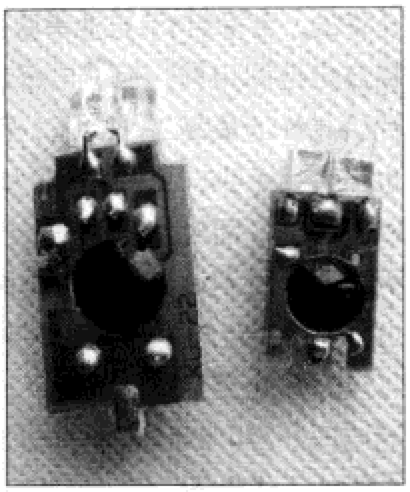


图3 礼品笔中的混色控制IC

太大，否则将无法装入。LED具有体积小、亮度高、功耗低、寿命长等优点，近年来在照明领域应用越来越广泛，这里也采用LED作光源，体积和亮度均可满足要求。

目前市场上LED颜色的种类比从前多了不少，但仍是有限的几种。在实际应用中，若需要LED发出更多种颜色的光，较为常用的方法是用多个不同颜色的LED混色。在大多数应用中，如广告屏、照明等，一般是选用红色、绿色和蓝色三种基色的LED来混色。若不改变各LED的亮度，上述三种颜色混色后能够得到4种新的颜色，如表1所列，若改变其中一种或多种颜色的LED的亮度，则可以得到更多种颜色。本小夜灯就采用这种混色的方法。

四、硬件设计

电路原理图见图2，整个电路包括控制电路和电源电路两部分。

1. 控制电路

近几年很多半导体制造商都开发了专用的三基色LED亮度控制IC即混色控制IC，此类IC在礼品笔、电子胸花等产品中十分常见，如图3所示。这类IC成本低廉、外围电路简单，但显示花样少，使用不够灵活，且多为裸片，不适合电子爱好者在业余条件下使用。基于以上考虑，本小夜灯没有采用专用IC，而是采用单片机来控制三种基色的LED的亮度。单片机选用STC（宏晶科技）的STC12C5404，主要是因为它内部具有4个通道独立的PWM（Pulse Width Modulation，脉宽调制）电路，可以很容易地实现本3路LED亮度的控制。它是一款单时钟/机器周期单片机，兼容MCS-51指令系统，工作电压为3.5～5.5V，在掉电模式下电流仅为0.1μA。

STC12C5404引脚排列与常用的AT89C2051类似，只是在它的基础上又增加了若干个引脚。本小夜灯操作并不复杂，控制对象也很单一，因而单片机外围电路非常简洁。PWM0、PWM1和PWM3这3个通道的PWM输出口分别控制红色、绿色和蓝色3路LED。由于各输出口灌电流可达20mA，所以无需任何驱动电路直接与LED连接即可。INT0、P2.5和P2.7这3个I/O口各连接1个按键，这些I/O口内部均有弱上拉晶体管，为了简化电路，外部没有再连接上拉电阻。RXD和TXD没有连接任何器件，但也通过焊盘单独引出，以方便在线编程和调试。虽然STC12C5404内部具有RC振荡器，但误差较大，为了保证电路的一致性以及显示花样变换时间的准确性，电路中还是使用了外部振荡器。这里没有使用常用的石英晶体，而是选用内置负载电容的陶瓷振荡器，这样就无需再外接负载电容，简化了电路。

表1　基色混色后得到的颜色

基色	混色后的颜色
红＋绿	黄
绿＋蓝	青
红＋蓝	紫（品红）
红＋绿＋蓝	白

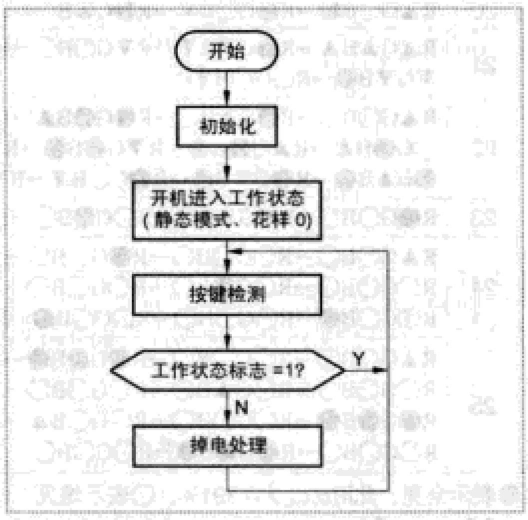


图4 主程序流程图

2. 电源电路

本小夜灯采用电池供电，这样小夜灯在工作时就无需外接专门的电源，也可以随时移动，使用更加方便。红色LED的正向导通电压V_F一般为2.0V，而绿色（这里并非指普通的黄绿色，而是指纯绿色，有时也叫翠绿色）和蓝色LED的正向导通电压V_F一般均为3.5V，这就决定了控制电路的工作电压应高于3.5V。大多数电池的标称电压为1.5V，用3节电池串联才能满足上述要求，但这样当每节电池工作一段时间电压降至约1.2V后电路将无法正常工作，电池利用率比较低，不够经济，作为采用电池供电的产品是不

允许的。若采用4节电池串联虽然能够提高电池利用率，但总电压超过了单片机允许的最高工作电压，而且体积也增大了不少，更不可行。为了解决以上矛盾，同时也为了进一步减小体积，这里特别设计了升压电路，整个电路采用2节1.5V电池串联供电。

升压电路以IC2为核心，将3V电池电压升至4.5V作为单片机及其外围电路的工作电压。IC2为RICHTEK（立锜科技）推出的升压型DC/DC变换器RT9261-45PX，它具有外围元件少、低功耗、低启动电压、高效率等特点，当每节电池电压降至0.75V时电路仍能正常工作，电池利用率非常高。

电路中输入端电容C3可以降低电源阻抗，减小输出噪声，使输入电流平均化从而提高效率。输出端电容C4的主要作用是使输出电压变得平滑，输出电压较高以及负载电流较大时，输出的纹波电压也会变大，C4的作用更加重要。为了获得比较稳定的输出电压，应选用22μF以上的低ESR（等效串联电阻）电容，当要求不高并且负载电流较小时，为了降低成本也可以选用质量较好的普通电解电容，但应适当增大容量。

电感L1应尽量选用直流电阻较小的产品。虽然电感值在很宽的范围内选取本电路都可以工作，但是电感值过大会使最大输出电流减小，并且增大了体积，增加了成本，电感值过小会使纹波电流变大，工作效率降低，并且有可能导致磁饱和，综合考虑以上因素L1选100μH。

VD1应选用正向压降小、开关速度快的肖特基二极管，本电路工作电压低、电流小，绝大多数的肖特基二极管都能够满足要求，但是一定要选择反向漏电流I_R较小的型号，否则空载输入电流偏大，待机功耗达不到要求。这里VD1选用SS14，此型号不同制造商生产的产品I_R的参数会有一定的差

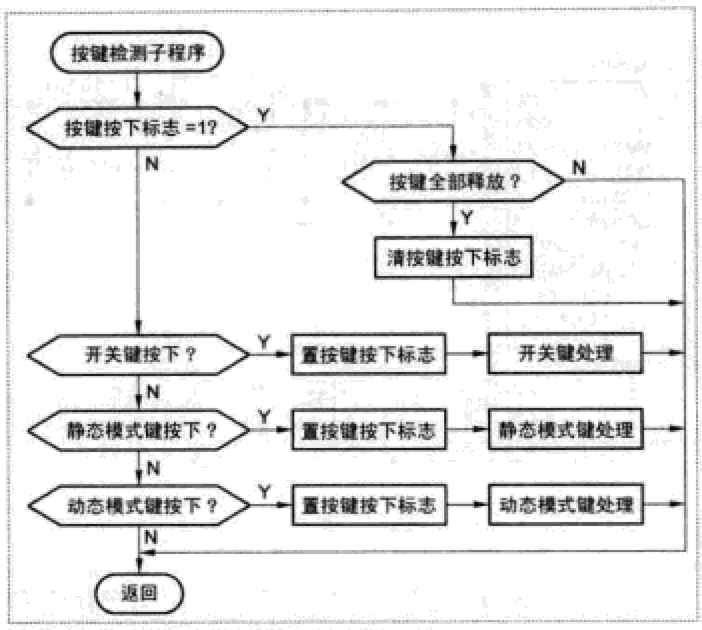


图5 按键检测子程序流程图

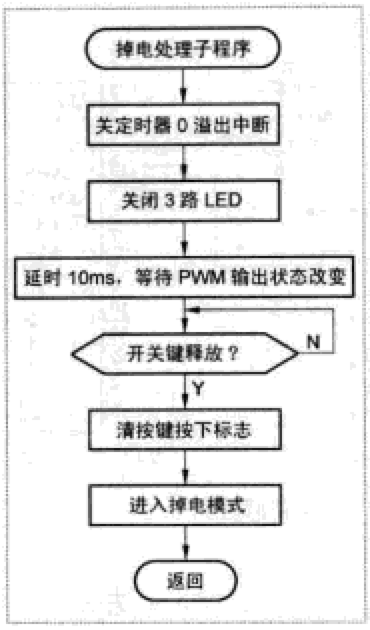


图6 掉电处理子程序流程图

表2 静态模式各显示花样对应的各路LED的状态

花样	各路LED的状态	花样	各路LED的状态	花样	各路LED的状态	花样	各路LED的状态
0	R●G○B○	1	R◎G○B○	2	R○G●B○	3	R○G◎B○
4	R○G○B●	5	R○G○B◎	6	R●G●B○	7	R◎G●B○
8	R●G◎B○	9	R◎G◎B○	10	R○G●B●	11	R○G◎B●
12	R○G●B◎	13	R○G◎B◎	14	R●G○B●	15	R●G○B◎
16	R◎G○B●	17	R◎G○B◎	18	R●G●B●	19	R◎G●B●
20	R●G◎B●	21	R●G●B◎	22	R◎G◎B●	23	R●G◎B◎
24	R◎G●B◎	25	R◎G◎B◎				

●表示全亮，此时PWM输出口输出脉冲的占空比d_{PWM}为0.391%，◎表示半亮，此时d_{PWM}为66.8%，○表示熄灭，此时d_{PWM}为100%。

表3 动态模式各显示花样各拍对应的各路LED的状态

花样	各拍各路LED的状态	花样	各拍各路LED的状态	花样	各拍各路LED的状态
0	R●G○B○→R○G○B○	5	R●G○B●→R○G○B○	10	R▲G▲B○→R▼G▼B○
1	R○G●B○→R○G○B○	6	R●G●B●→R○G○B○	11	R○G▲B▲→R○G▼B▼
2	R○G○B●→R○G○B○	7	R▲G○B○→R▼G○B○	12	R▲G○B▲→R▼G○B▼
3	R●G●B○→R○G○B○	8	R○G▲B○→R○G▼B○	13	R▲G▲B▲→R▼G▼B▼
4	R○G●B●→R○G○B○	9	R○G○B▲→R○G○B▼		
14	R●G○B○→R○G●B○→R○G○B●				
15	R●G●B○→R○G●B●→R●G○B●				
16	R●G○B○→R●G●B○→R○G●B○→R○G●B●→R○G○B●→R●G○B●				
17	R▲G○B○→R▼G○B○→R○G▲B○→R○G▼B○→R○G○B▲→R○G○B▼				
18	R▲G▲B○→R▼G▼B○→R○G▲B▲→R○G▼B▼→R▲G○B▲→R▼G○B▼				
19	R▲G○B○→R▼G○B○→R▲G▲B○→R▼G▼B○→R○G▲B○→R○G▼B○→R○G▲B▲→R○G▼B▼→R○G○B▲→R○G○B▼→R▲G○B▲→R▼G○B▼				
20	R▲G○B●→R●G○B▼→R●G▲B○→R▼G●B○→R○G●B▲→R○G▼B●				
21	R▲G▲B▲→R●G▼B▼→R▼G○B○→R▲G▲B▲→R▼G●B▼→R○G▼B○→R▲G▲B▲→R▼G▼B●→R○G○B▼				
22	R▲G○B○→R●G▲B○→R●G●B▲→R●G●B▼→R▼G●B○→R○G▼B○→R○G▲B○→R○G●B▲→R▲G●B●→R▼G●B●→R○G▼B●→R○G○B▼→R○G○B▲→R▲G○B●→R●G▲B●→R●G▼B●→R●G○B▼→R▼G○B○				
23	R●G○B○→R▼G▲B○→R○G●B○→R○G▼B▲→R○G○B●→R▲G○B▼				
24	R▲G○B○→R○G○B○→R●G○B○→R○G○B○→R●G○B○→R○G○B○→R○G▲B○→R○G○B○→R○G●B○→R○G○B○→R○G●B○→R○G○B○→R○G○B▲→R○G○B○→R○G○B●→R○G○B○→R○G○B●→R○G○B○				
25	R▲G○B○→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○→R▲G▲B○→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○→R○G▲B○→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○→R○G▲B▲→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○→R○G○B▲→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○→R▲G○B▲→R○G○B○→R●G●B●→R○G○B○				

●表示全亮，此时d_{PWM}为0.391%，○表示熄灭，此时d_{PWM}为100%，▲表示变亮，此时d_{PWM}逐渐由100%降至0.391%，▼表示变暗，此时d_{PWM}逐渐由0.391%升至100%。

别，在实际选择时应注意。

五、软件设计

程序包括主程序、按键检测子程序、静态显示子程序、掉电处理子程序、外部中断0服务程序和定时器0溢出中断服务程序等几个部分。

1. 主程序

主程序流程图见图 4。初始化程序除了清 RAM 以及对 I/O 口、定时器、中断等进行设置以外还对与 PWM 功能相关的寄存器进行设置，这里将 PWM 输出口输出脉冲的频率 f_{PWM} 设置为 1.302kHz。初始化后调用静态显示子程序进入工作状态，之后执行主循环程序，完成按键检测、掉电处理等任务。

2. 按键检测子程序

按键检测子程序流程图见图 5。这部分程序的任务是根据按键操作执行相应的按键处理程序，完成工作状态、模式以及显示花样的切换。其中，开关键处理主要是改变工作状态标志并在工作状态标志置 1 时恢复原来的工作状态；静态模式键处理主要是改变静态模式花样寄存器的数值，并调用静态显示子程序改变 LED 的状态；动态模式键处理主要是改变动态模式花样寄存器的数值，并设置相关寄存器的初始值、使能定时器 0 溢出中断，为执行定时器 0 溢出中断服务程序做好准备。

3. 静态显示子程序

静态显示子程序的主要任务是根据静态模式花样寄存器的数值改变各路LED的状态。静态模式各显示花样对应的各路LED的状态如表2所列。

程序中将各路 LED 状态对应的 d_{PWM} 设置值（CCAPnH 寄存器的数值）参考表 2 按花样列成表，静态显示子程序根据静态模式花样寄存器的数值，通过查表得到相应花样各路 LED 状态对应的 d_{PWM} 设置值，用这些设置值替代原来的设置值即可改变各路 LED 的状态。

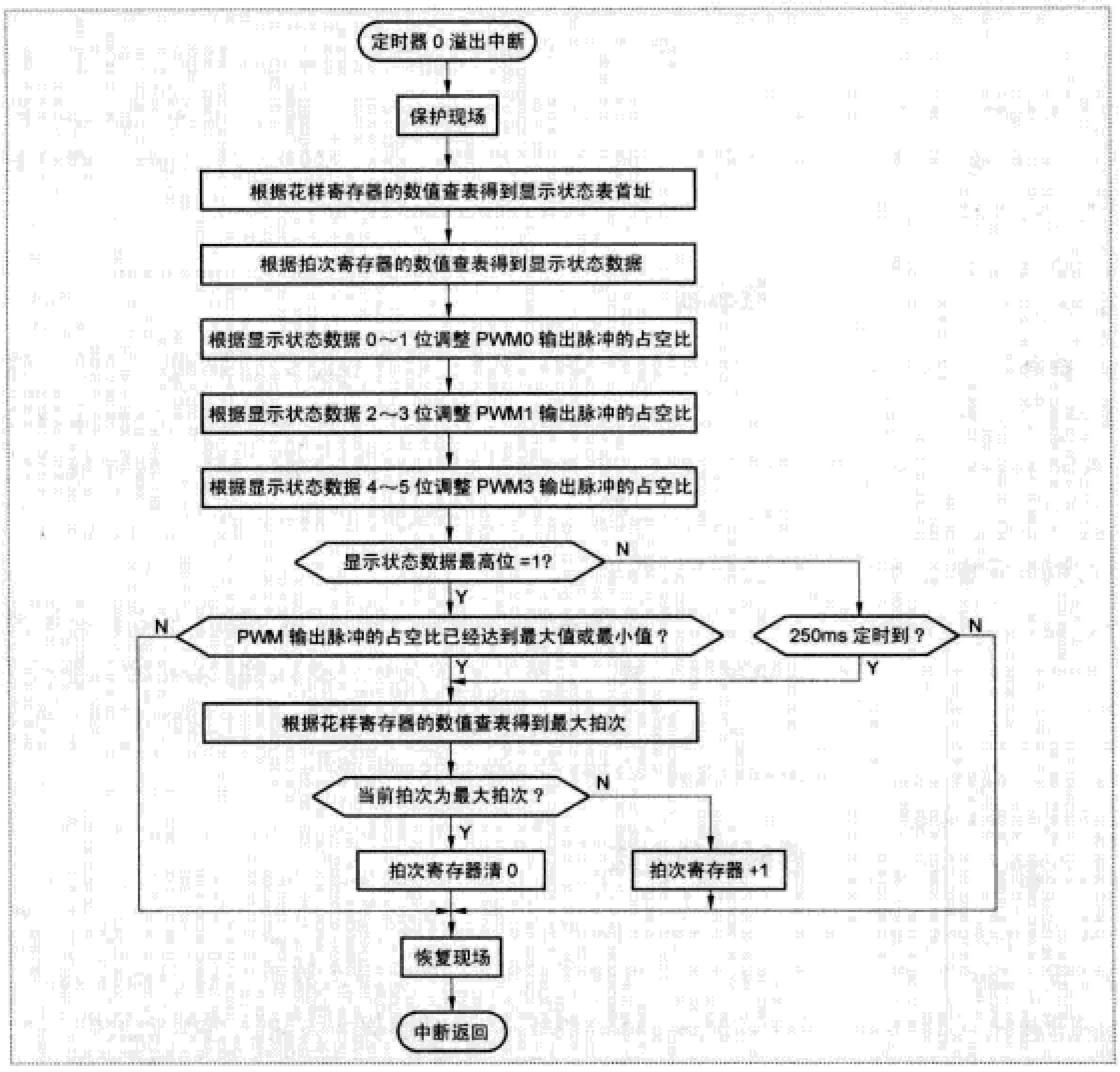


图7 定时器0溢出中断服务程序流程图

4. 掉电处理子程序

掉电处理子程序流程图见图6。其主要任务是关闭各路LED，进入掉电模式。执行这部分程序后，程序将停止运行，系统功耗降至最低，当单片机被“唤醒”后，程序返回继续运行。

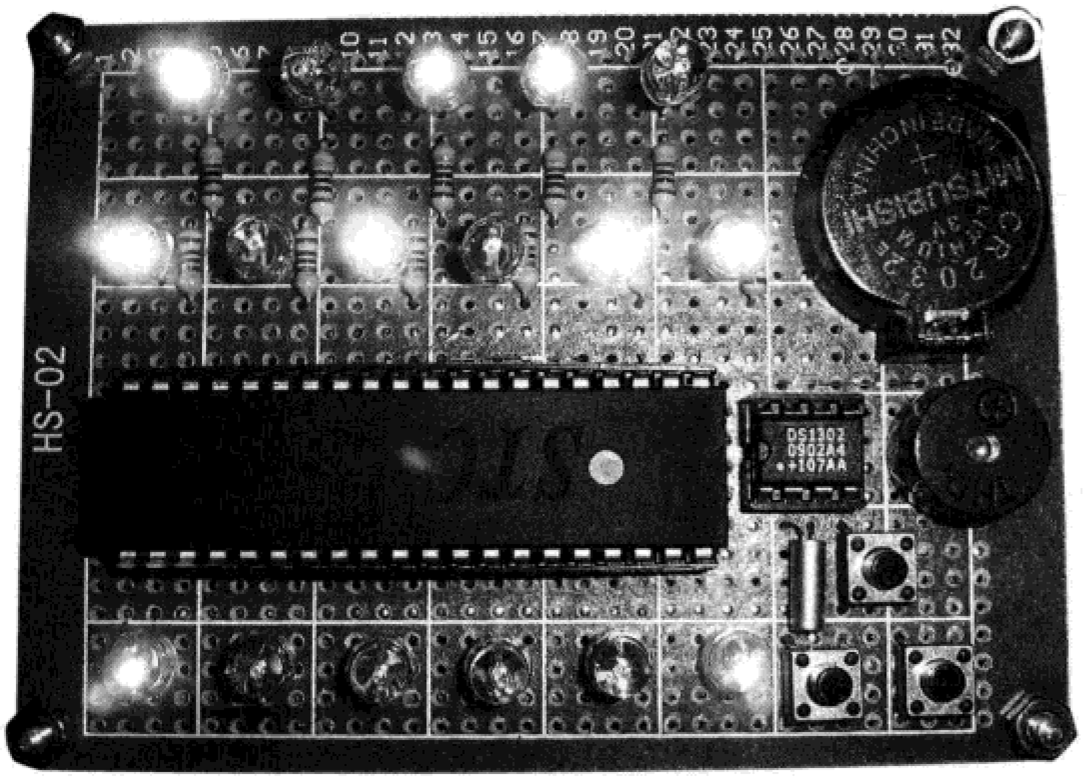
5. 外部中断0服务程序

每当开关键按下后产生外部中断，外部中断0服务程序执行一次。这部分程序的指令只有2条，并没有执行实质性的任务，它仅是将单片机从掉电模式中“唤醒”。

6. 定时器0溢出中断服务程序

定时器0溢出中断服务程序流程图见图7，它实际上是动态显示子程序。这部分程序每10ms执行一次，其主要任务是在动态模式下按所选择的显示花样循环改变各路LED的状态。为了方便软件设计，这里将动态模式每种显示花样细分为若干拍，各显示花样各拍对应的各路LED的状态如表3所列。

动态模式各显示花样的各拍中，包含变亮或变暗状态的拍持续时间较长，约为2.56s，不包含变亮和变暗状态的拍持续时间较短，约为250ms。程序中将各路LED的状态标志和拍的长短标志组合为1个字节的显示状态数据，参考表3按花样和拍次列成表，定时器0溢出中断服务程序根据动态模式花样寄存器和拍次寄存器的数值通过查表得到相应花样、相应拍的显示状态数据，依此调整各路LED的d_{PWM}设置值即可改变各路LED的状态。随着定时器0溢出中断的不断产生以及拍次寄存器数值的不断改变，各路LED的状态便可按所选择的显示花样的各拍循环变化。



◎伍浩荣

炫彩LED 二进制时钟

学习数字电路的二进制之后，觉得二进制数很神奇，例如现在的电脑都是采用二进制。二进制容易实现，运算规则简单，只有0和1，两种状态的转换速度极快，从而由简单的0和1构成了复杂的计算机世界。我国古代的一本奇书《易经》中说“万事万物都有阴阳”，似乎有异曲同工之妙，这些都让我对二进制数产生好奇。直到有一天我在网络上看到一个这样的题目：

一片果林的成熟季节又到了，大批量的水果就要和买主交易，然而，买主来收购之前给农户出了一个“难题”：将1000个水果事先放在10只箩筐里，待其到来时如果能整筐整筐地搬出来并凑够临时指定的数量，买卖照做还坚持长期合作；如果做不到，预约好的买卖取消，今后也不来打交道了。

题目出得很巧妙，我一想想不出来就查看答案，原来是一个跟二进制数相关的问题，第一个箩筐装1个，第二个箩筐装2个，后面的箩筐的数量都是前一个箩筐的一倍（最后一个除外），所以各个箩筐的数量分别为：1、2、4、8、16、32、64、128、256和489，这样的话就可以任意取出所需的数量了。一看答案，惊叹二进制数的神奇之处，竟然能这样任意表达出所需的数量。

二进制时钟诞生记

正好这几天研究着用DS1302时钟芯片和单片机制作一个时钟，突然想到，既然二进制能用“10个箱子”任意取出“1000内的数”，那么是否可以制作出一个跟二进制数相关的时钟呢？当两种思维结合在一起的时候，就可以产生出很多有趣的事情来。这么一来，就很自然地想出了制作一个二进制时钟，但是用什么方式来显示呢？看到手头上有多种颜色的LED灯，于是想到就用发光二极管呗，灯亮就是“1”，灯灭就是“0”，一排LED的亮就形成一个二进制数，从而读出相应时间。这个想法让我兴奋不已，于是我开始着手单片机的编程，用单片机把在DS1302上取出的时间的BCD码转换成10进制数直接放在一组I/O口上面，单片机会自动把十进制数转换成以1和0表示的数放在一组的8个I/O口上，这样一来，在相应I/O口上连接LED灯就能显示出“时间”来了。由于小时最多为“24”，因此只需要5个LED灯就可以完整表示，而“分”和“秒”部分要6个LED灯才能完整表示。

注意事项

因为我们一般采取上拉电流方式接正极驱动LED灯，输出为“0”时LED灯亮，所以我们还要把取来的数进行取反放在相应组位，单片机C语言中的取反为“~”，例如取来的“秒”放在P1组口，就这样表示：“P1=~miao”，用“~”号就可以轻易取反。

还有需要注意的地方是，我们平常读数是从左到右读高位数到低位数，但是大多单片机的I/O口组是从低位到高位的，因此我们制作时要特别注意焊接LED灯的顺序，或者把单片机翻转摆放就可以解决这个问题。

读时钟的方法

如题图所示的每组数就是“10110”、“101011”、“100001”，在脑袋里进行简单的运算就可以得出时间为：“22:43:33”。科学发现，经常运算可以防止老年痴呆症 ^_^，因此，二进制时钟就有了它的意义所在了。

图形液晶模块应用入门 1

无字库12864液晶的驱动方法

◎卫小鲁

在制作单片机系统时，一般都需要用显示器件来显示单片机的工作状态并显示输出结果，如LED、数码管和液晶显示器等。LED最简单，但能给出的信息很少。数码管能清晰地显示数字和部分字母，但是耗电较大，不适合使用电池供电的装置。

常见的液晶显示器有段式液晶、字符液晶和图形液晶等。其中，段式液晶最省电，但对于通用显示使用起来不很方便，只能显示固定式数字或符号，而且需要专用驱动电路或特殊的单片机。

字符液晶（如1602）用得比较多，容易和单片机配合，但是一般都需要5V工作电压，虽然现在也有3V就可以工作的模块，但是体积还是较大，而且只能显示数字和西文字符，无法显示图形和汉字。

图形点阵液晶模块既可以显示ASCII字符，又可以显示汉字和图形，相对于前面几种，具有更大的灵活性，所以使用得越来越多。不过常用的图形液晶因为显示面积增加，体积比字符液晶（如1602）更大，价格也更贵。初学者要注意的是，12864图形点阵液晶随着厂家设计使用的驱动芯片不同，驱动程序有所区别，不像1602那样基本通用。

几种常见的12864图形点阵模块

12864点阵液晶模块分为带汉字库和不带汉字库两大类，目前带汉字库的通常是ST7920驱动，它可以工作在汉字字符方式和图形点阵方式，很多制作都用它，如果需要显示较多汉字，用它最为方便。

在显示汉字数量很少的场合，我们可以使用更加廉价的、不带字库的点阵液晶模块，这正是本文重点介绍的。它们的控制电路有KS0108和ST7565两种：KS0108很简单，一共只有7条指令，可是它没有串行接口；ST7565有20多条指令（最常用的也就几条），有串行接口，可选串行或并行工作。KS0108和ST7565的指令和上述带字库的ST7920区别较大，所以初学者买液晶时一定要搞清楚是哪种驱动电路。即使同样的驱动电路，不同厂家或者不同型号的产品，具体细节仍可能不同。例如有的片选信号是高电平有效，有的却是低电平有效，有的把显示区分为左右两半分别选取，有的却不加区分。所以使用前要仔细看厂家说明，如果没有，就要看液晶模块背面给出的具体型号，根据这个型号去查找使用手册。

笔者最近在淘宝网上搜寻到一款 12864 的图形点阵液晶，只有 4cm 宽、3.5cm 高，显示面积为 3.2cm 宽、1.95cm 高，非常小巧。更加难能可贵的是它可以在 3V 低电压工作，很适合我们制作小型便携装置。该液晶模块型号是 SO12864FPD-12CSBE，由北京集粹电子设备公司出品，它的外形见图 1。

图 2、图 3 所示为笔者用它制作的一个小小日历钟，它的特点是具有可以随意转换的文字和图形界面。文字界面除了显示年月日时分秒，在右上角还有一个小鸡啄米的小动画，图形界面用指针在刻度上指示出时分秒，是不是有点新意呢？图 4 所示是调频收音机的显示屏，用进度条指示音量，用刻度尺显示信号强度，比 1602 只能显示数字和字母要生动多了。没有字库用起来是否很麻烦？其实搞清了图形点阵的基本工作原理，用起来并不麻烦却更灵活，不带字库我们就按需要打造字符！

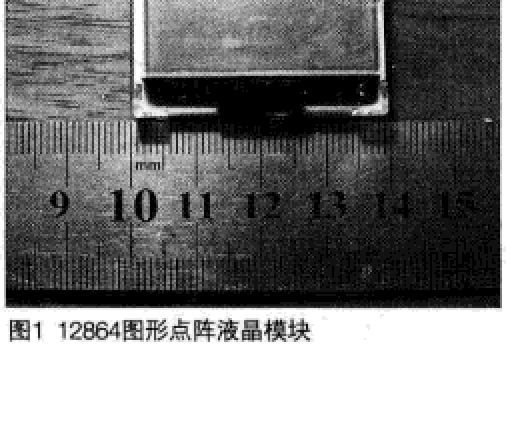


图1 12864图形点阵液晶模块

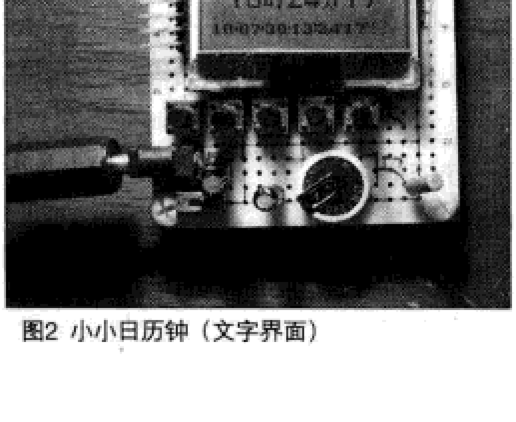


图2 小小日历钟（文字界面）

图3 小小日历钟（图形界面）

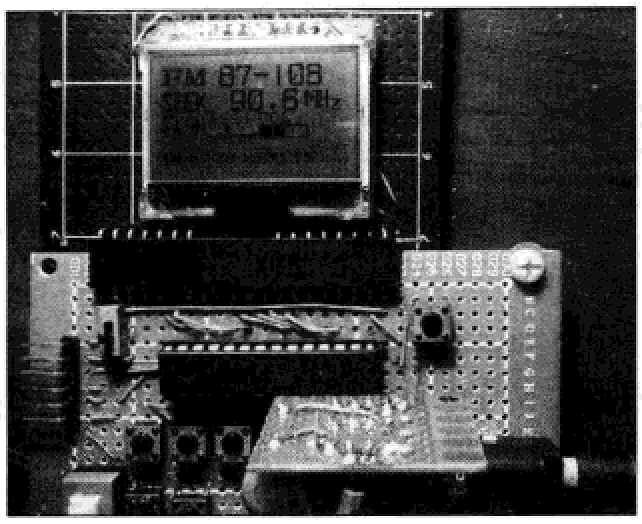


图4 调频收音机

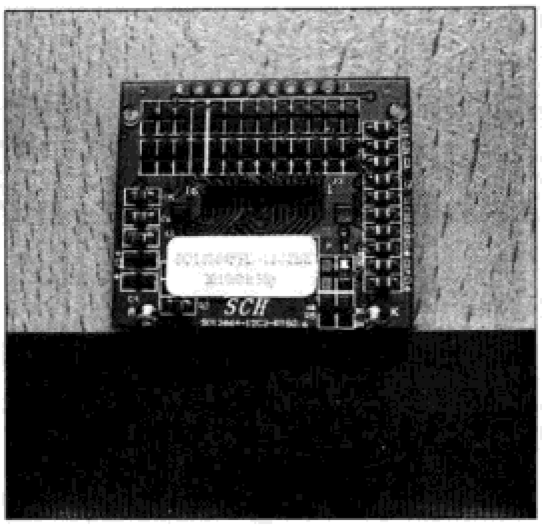


图5 液晶模块采用“COG”封装

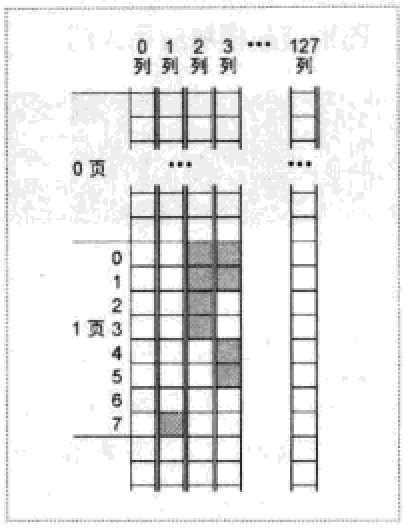


图6 点阵液晶显示原理

下面就谈谈这个液晶的驱动方法，以后将给出一些制作实例，以帮助初学者用它做出具有个性的东西。

液晶模块SO12864-12C简介

此型号小液晶包括一系列子型号，详见http://www.asdlcd.com/files856985665897965/productpdf/2010-4-29/522625504.pdf。这次所用的SO12864FPD-12CSBE只是其中的一种，我们先来了解一下它的主要特性：

◆ 逻辑或电源电压2.8～5.5V；

◆ 蓝色背光，背光电压3V；

◆ 串行接口，用 8个焊盘引出包括电源、背光、地和控制线数据线；

◆ 不带字库，需要自己编辑外部字模数组；

◆ 速度较快，用时钟1MHz的AVR单片机驱动，编程时无须附加脉冲额外延时；

◆ 使用ST7565电路，命令代码一共23条。

显然，它十分适合低压小尺寸场合应用，串行接口最大限度减少了液晶和单片机的连线，虽说比并行慢一点，实际上如果不是频繁刷屏影响并不大。要自己编制字库确实比较麻烦，但是只要显示的文字量少，制作小字模也不困难，反而可以自己打造个性化的字体，使得显示具有特色。

把液晶模块翻过来，如图5所示，发现电路板上没有通常液晶模块的黑胶封装集成电路，原来这个液晶采用的是“COG”封装，就是把集成电路直接绑定在液晶玻璃板上。

它的8个接口焊盘位于模块上方，定义如下：

1. 片选$\overline{CS}$：它为低电平才能进行操作，在加载数据后至少维持40ns低电平。

2. 复位$\overline{RES}$：启动时至少维持1μs低电平以使液晶内部复位，然后升高，再过1μs完成复位，以后才能对液晶进行操作。

3. 命令数据选择A0：高电平为数据，低电平为命令。

4. 串行时钟SCL：顶底宽度至少25ns，低时A0和SI至少稳定20ns，然后在上升沿加载数据或命令。

5. 串行数据SI：同上，在SCL上升沿加载后至少还要保持10ns稳定。

6. 电源正VCC：最低2.8V，标准3V，最大5.5V。

7. 地VSS。

8. 背光LED+：蓝色背光最低2.8V，标准3V，最大3.2V，使用时要注意不要超过。

在串行模式时，一个命令或数据字节要分为8次加载，从最高位开始。

图形点阵的显示原理

12864点阵液晶的图形显示原理都差不多。液晶屏x方向（水平）具有128列像素从左到右为第0列……第127列，y方向（垂直）具有64行像素。每8行组成1页，从上到下就是第0页……第7页。这样以列号和页号为坐标，就可以指定交叉位置的8个像素。例如第0、1、2、3列第1页的8个像素，如图6所示。在液晶内部有一块显示缓存区，按照列号和页号就可以对显缓区的某个字节写数，该字节的8位二进制数就对应了液晶屏同样位置的像素的亮灭，如对第1列第1页的那个缓存单元写入0X80即0b10000000，那么液晶对应位置的最下面一点7亮（低位在上高位在下）其余都灭，如果第2列第1页写入0X0F即0b00001111，则该位置上方4个点0123亮，其余像素不亮，第3列第1页写0X33,则该处间隔2点亮。这样就可以通过程序控制液晶屏的任意像素了。不同的液晶屏指令代码可能不同（例如这个屏和常见的7920驱动不一样），屏幕划分也可能不同，例如有的是分为左右两半，每半边64列，有的是分为上下两半等。

液晶SO12864-12C的编程要点

控制液晶最基本的工作就是往液晶的控制器写入命令码

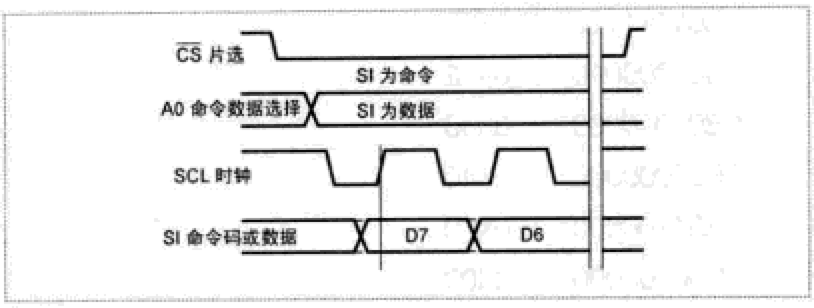


图7 控制脉冲和代码脉冲的时序关系

或往显缓区写入数据码，是命令还是数据由加到上述A0的电平高低决定：高，数据；低，命令。

因为现在是串行传送，所以只能由高到低一位位写。

串行只能写不能读。以前要靠读来判定液晶是否忙，这个液晶速度较高，实际使用证明串行传输不用读忙。

编程就是用单片机的几根口线按照所需的时序发出高低电平，再往液晶里送入代码或数据。控制脉冲和代码脉冲的时序关系如图7所示。

最常用的几个命令

1. 显示开/关：代码：0XAF(开)，0XAE(关)启动复位后为“关”，必须在液晶初始化时置“开”。

2. 页地址定位：代码：0XB0……0XB7,对应第0页到第7页，复位后自动安置为第0页。

3. 列地址定位：列地址是0X00……0X7F，但不是直接用列地址而要转换为双字节代码。方法是0X10加原高4位和0X00加原低4位。例如第33列，本是0X21，现在应该转换为0X12和0X01，分2次写入。

4. 写显示数据：代码就是显示数据，控制脉冲 A0 为高。

5. 复位：代码0XE2，通过程序使得液晶恢复各种起始默认状态。

有了这几条命令就已经可以使液晶画出以像素点为基础的图形或字符了。有些其他命令（如对比控制、亮度、偏压等）就取默认值，无需修改（初始化要用一下），还有些很有用的命令（如反向列页扫描、起始行、反白显示等），需要时再去查资料不迟。有了上述命令代码，我们就可以通过汇编或C语言，按照控制时序编出子程序或函数，以便在程序中使用。C语言因为易读性好、通用性好、移植性好所以用得较多，下面就给出一些C的函数，由它们就构成了液晶的驱动。

驱动液晶的基本C函数

我们用C语言编程，在C语言里，用“函数”把单片机的一系列具体操作包装起来起个函数名，需要时直接按名调用即可，非常方便。

首先必须解决怎样对液晶串行写数据的问题，然后按照A0线的高低，我们就可以自行编出写数据函数和写命令函数。

以下只列出函数说明和用法举例，函数的具体内容可到《无线电》网站上下载C程序代码。

1. 串行传送1字节数据函数，参数为待传字节。

void LcdWriByte(unsigned char nn) //nn就是待写字节

这个是最基本的函数，不过我们不直接用它而是把它放在其他写数据函数里调用。

2. 写命令。参数为命令码。

void LcdWriCommand(unsigned char command);

例如，打开显示：LcdWriCommand（0XAF);

3. 写数据。参数为待写的显示数据。

void LcdWriData(unsigned char data);

例如，写显示一个点的数据： LcdWriData(0X01);

4. 指定列、页地址。参数为列地址x和页地址y。

void LcdSetxy(unsigned char x,unsigned char y);

例如：LcdSetxy(68,2);//设置显示地址为第68列、第2页。

通常和上一个函数连用，见下一节函数应用举例。

在以上基本函数基础上我们还可以根据命令码推演出几个便于使用的功能函数。

5. 开显示。

void LcdOn(void);

例：LcdOn( );

6. 关显示。

void LcdOff(void);

例：LcdOff( );

7. 软复位。用它可以在任何时刻使液晶屏回到起始状态而显示缓冲区内容不变。

void LcdReset(void);

例：LcdReset( );

8. 刷屏。

void LcdCls(unsigned char data);

就是用数据data写满显示缓冲区，data如果为0，那全屏刷白（无像素显示），如果data为0XFF则全屏刷黑（像素全部亮）。如果为0XAA呢？感兴趣的读者不妨实验一下。

例：LcdCls(0);

最后给出该液晶的初始化函数，在系统启动后，MCU初始化以后就进行液晶初始化。

9. LCD初始化。

Void Lcd_ini();

通常在程序开始阶段进行，对各种参数进行设置，具体初始化项目请参看函数内容和注解。

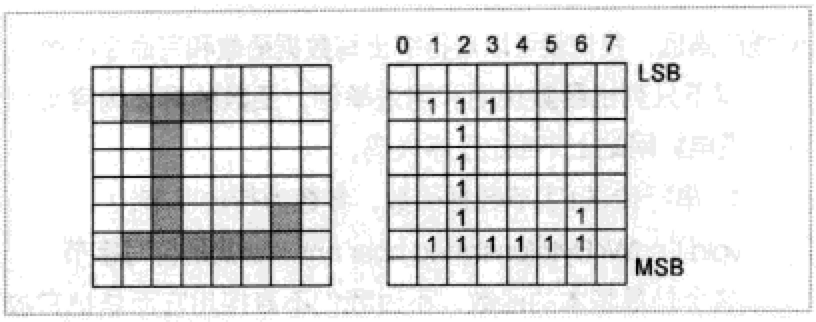


图8 字母“L”的图形点阵

函数应用举例

1. 在指定位置画1点

先给定页和列坐标，就指定了1列8个像素点，1个点的位置从上到下对应数值为0X01、0X02、0X04、0X08、0X10、0X20、0X40、0X80。

例如在第9列、第3页最低位画点：

```
LcdSetxy(9,3);
LcdWriData(0X80);
```

2. 在指定位置画连续8个点构成的短竖线

例如位置同上，则

```
LcdSetxy(9,3);
LcdWriData(0XFF);
```

3. 画水平线

例如从第10列起在第3页底部画1根长度50像素点的连续直线：

```
unsigned char i;
LcdSetxy(10,3);
for (i=0;i<50;i++)
{
LcdWriData(0X80); //循环中列地址自动递增
}
```

明白了以上基础，我们就可以进一步画出长短竖线、更粗的水平线、水平双线矩形方框、黑块等，这样就可以画简单图形了。

怎样显示字符或汉字

字符和汉字实质是在一个矩形区域内由一系列像素点构成的图形，也就是点阵图。例如在一个8×8点阵区域内，字母“L”点阵如图8左所示。如果要在第0页第0……第7列显示这个字符，那么就应该在相应的显示缓冲区装入相应的数据如右边图所示，这里用1表示显示像素，不显示的像素都是0，为清楚起见图中就不标出，上方表示列号0……7，那么从0列开始，各列的二进数和16进数分别表示为：

0B00000000 ： 0X00
0B01000010 ： 0X42
0B01111110 ： 0X7E
0B01000010 ： 0X42
0B01000000 ： 0X40
0B01000000 ： 0X40
0B01100000 ： 0X60
0B00000000 ： 0X00

所以我们就用一个8元素的数组来表示这个“L”：

```
const unsigned char L[8]={0X00,0X42,0X7E,0X42,0X40,0X40,0X60,0X00};
```

要在液晶上的第3页第6列显示这个“L”，就使用如下函数：

```
LcdShow88(unsigned x,unsigned y, const char *p);
```

其中p指向8点阵字符数组，那么具体代码为：

```
LcdShow88(6,3, L);
```

打造字模就是按照所需显示的文字符号一一编制各自的数组，上述8×8点阵就可以在1页高度内显示，实际上其上下左右都要留空，这样有效的点阵只有6×6，要显示数字和ASCII字符尚可，简单笔画的汉字也行，可是笔画稍多的汉字就不行了。对于汉字显示我们一般使用16×16点阵的字模。这样的汉字高度占2页，宽度是16列，12864的液晶可以显示4行，每行8个字。所有的12864液晶不论尺寸大小都是如此。

一个16点阵字模数组具有32个元素，每一页有16个元素。因此显示这样的汉字时，就要给同一列的某一页和下一页分别写入各自的16个元素。例如汉字“钟”的字模数组为：

```
const unsigned char ZHONG[]={0x80,0x40,0x70,0xCF,0x48,0x48,0x00,0xF0,0x10,0x10,0xFF,0x10,0x10,0xF8,0x10,0x00, 0x02,0x02,0x02,0x7F,0x22,0x12,0x00,0x07,0x02,0x02,0xFF,0x02,0x02,0x07,0x00,0x00};
```

要在第2页、第6列开始显示“钟”，我们用一个函数：

```
LcdShow1616(unsigned x,unsigned y, const char *p);
```

其中参数x 是列，y是页，p指向字模数组，具体的代码为：

```
LcdShow1616(6,2, ZHONG);
```

这样，汉字就显出来了。

最后，交代一下取得点阵汉字字模的方法。

编制字模数组的好帮手——字模软件的使用

因为我们现在需要的汉字量很少，所以可以使用一些字模提取软件自己制作所需的字模。以一个很好用的绿色免费“畔畔字模提取软件”为例加以说明。

此软件在各大程序网站都有下载，下载解压后就可使用，开启界面如图9所示。选取Shape ：方形，Mode：C51，取模

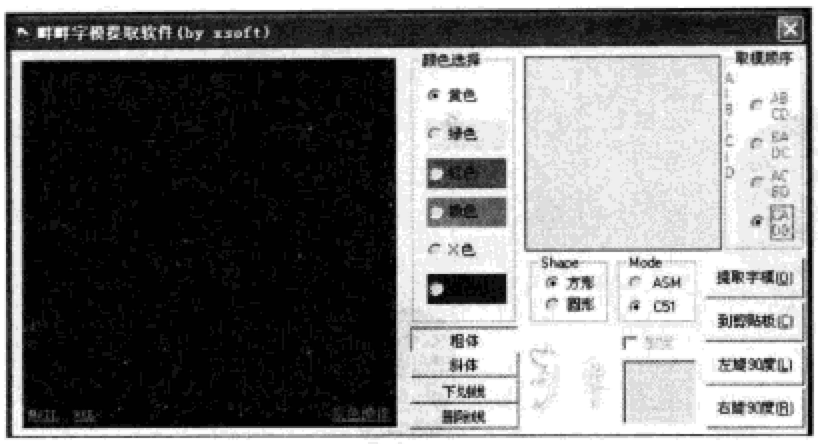


图9

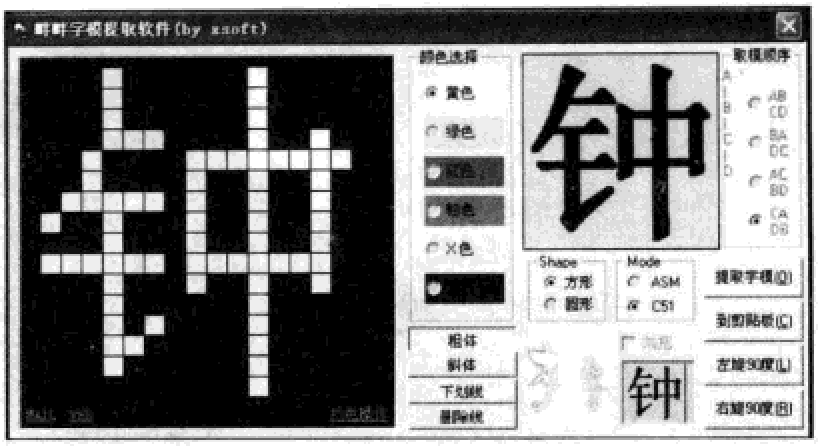


图10

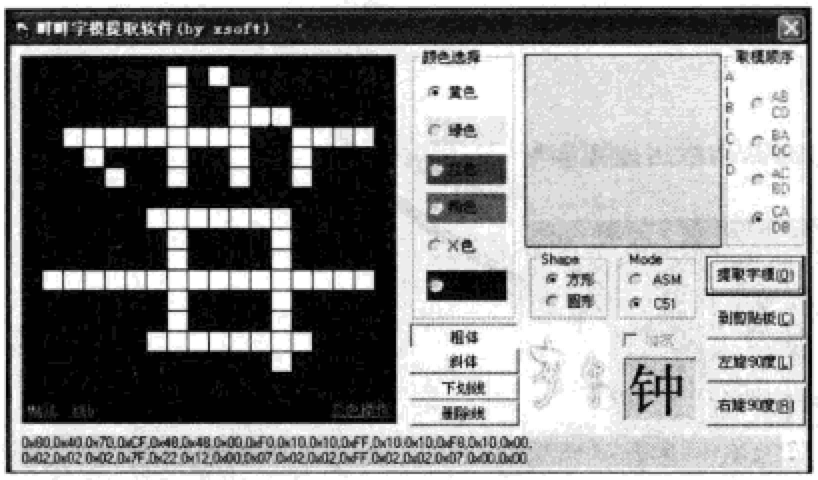


图11

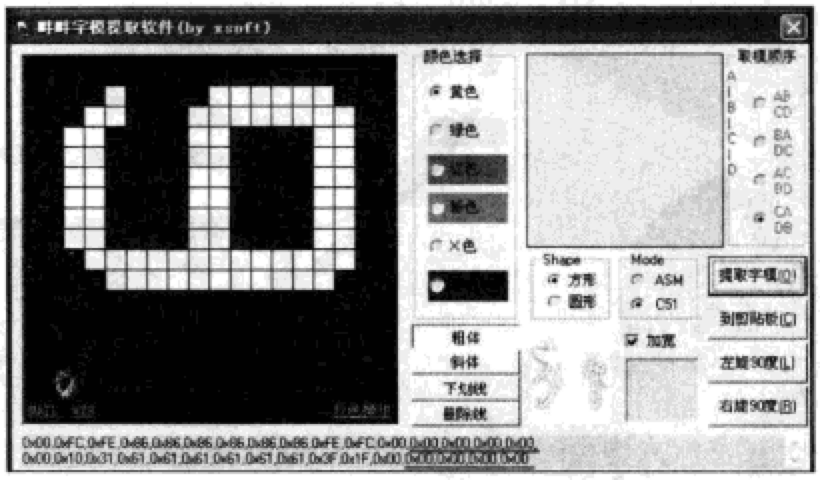


图12

顺序选第4种，即点阵图右上为A,右下为B，左上为C，左下为D，这是按照先右半从上到下，后左半从上到下的顺序取模。

然后在下面输入框里输入汉字回车后，左边显示点阵字，见图10。对点阵自行修饰改动，用鼠标点选即可，例如竖笔加粗等，这里没改。

点右旋90度按钮，点阵汉字右旋90度，其目的是由上往下取码,相当于显示时从左往右显示。点“提取字模”按钮，字模代码呈现在点阵下面，见图11。注意字模码有2行，上行对应旋转后的右半区域从上往下取码，下行对应左半区域从上往下取码，这就等同于旋转前的汉字从左往右取码，而上行代码对应的是汉字的上半代码，下行则对应的是汉字的下半代码。正好符合上述汉字显示程序先显示上半部后显示下半部的要求。这样就取得了例子中的字模代码。

可以把所需的汉字逐一取码，然后存在二维表中，就形成了16×16点阵字模数组。

因为单片机FLASH ROM程序存储空间较大而RAM较小，而一个16点阵汉字占据32字节，10个字就320字节，对于RAM通常在几百到1K字节以下的单片机嫌太大，所以字库应该存放在FLASH区比较合理。但是读出FLASH中的数据，程序还要变一下，以使用GCC编程为例，前述字模常量和程序修改如下：

const unsigned char ZHONG_[]PROGMEM ={0x80,0x40,0x70,0xCF,0x48,0x48,0x00,0xF0,0x10,0x10,0xFF,0x10,0x10,0xF8,0x10,0x00,0x02,0x02,0x02,0x7F,0x22,0x12,0x00,0x07,0x02,0x02,0xFF,0x02,0x02,0x07,0x00,0x00,};

要在第2页第6列显示“钟”，用一个稍稍不同的函数：

LcdShowFlash1616(unsigned x,unsigned y, const char *p);

即：LcdShowFlash1616(6,2, ZHONG_);

就行了。

以上各有关函数具体内容可到《无线电》网站上下载。

制作非标准的字模

有时我们需要一些“非标准的”字符，例如12宽×16高或者8×8字符，同样也可以使用上述工具，不过这时字符就要用鼠标在选定区域内逐点点出，因为他提取的时候还是针对16×16点阵，所以最后还要去除多余的0字节，如图12表示一个数字9的取模。得到的代码上下排都去掉最后4个0字节如图中下面画线的那8个。最后每个字就24字节，程序中循环此书作相应改变。

好了，喋喋不休一大堆，基本方法都交代了，说得口干看得头大，这次就到这里，下次结合一个具体的小日历钟，看看该怎么整。

大大小小的液晶模块在电子市场里有很多种，读者朋友不一定限于笔者所用的型号，如果有兴趣，在淘宝网上搜索小12864液晶即可。

精简制作触摸操作（下）

◎杜洋

本文继上期文章，介绍单片机实现精简电容式触摸操作的原理和编程方法，同时给出mini48定时器的制作实例。

电容触摸研究

上一期我们聊到触摸技术的实现，触摸式的电子琴你有没有制作出来呢？你又有没有参考源程序来学习触摸式琴键的编程技巧呢？如果有，你会得到更深入的启发。实际上用单片机实现电平式触摸的原理是简单的，因为手指触摸即有电平的变化，读出电平状态就可以处理按键了。与之相比，看上去更高级一些的电容式触摸技术就没有这么简单了，所谓的“更高级”并不是因为它的技术实现复杂，还是指在应用上显得更文雅。电容式触摸技术可以让手指不接触到金属导线，给用户的感觉是更安全的。因为谁也不能保证裸露在外的金属片会不会带有上千伏的电压。电容式触摸技术的另一个优势是在产品设计方面。对于我们电子爱好者来说，找到一款适合自己DIY作品的外壳是很困难的，有的外壳制作高手可以在很短的时间内制作出精致又专业的外壳，可是并不是每个人都有这样的本领。为露出微动开关而在外壳上钻孔是再平常不过的了，可是钻了孔就很难美观了，我也一时为这个问题困惑。幸好有电容式触摸技术，可以把我们的触摸片设计在塑料外壳的内部（外壳不能是金属的，不然电容触摸就没有效果了），外壳的表面只要贴一张标签，写明这是触摸按键，具有什么功能就可以了。

电容式触摸技术这么好，在哪里可以得到呢？上一期我也曾讲过，现在市场有专业的电容式触摸芯片，芯片厂商已经把电容式触摸的处理集成到芯片中。这种芯片的好处就是稳定性好，不需要二次开发就可以直接使用。芯片上都会留有各种接口，或与单片机连接或驱动控制电路。缺点是价格太高而且不易买到，与触摸芯片的好处相比，缺点好像是致命的。如果不能在一般的电子市场里买到，或者一片4键触摸芯片要花30块钱购买，那么又会有多少爱好者朋友真的可以轻松拥有呢？那么，能不能有更好的替代方案，我们可不可以用其他方法实现电容式触摸操作呢？

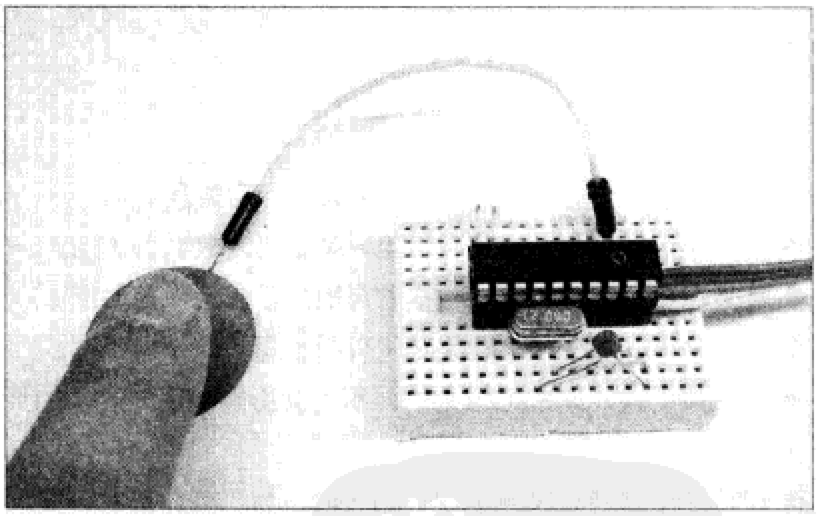
为了用单片机实现精简电路的电容式触摸操作，我是下

了不少功夫的。结果很让我满意，心血没有白费。首先我研究了一下电容式触摸技术的实现原理。因为我需要从原理角度入手，看看在同一原理的情况下有没有什么方法可以用单片机模拟触摸芯片。上一期我们也简单地介绍过电容式触摸技术的原理，其实就是利用了电容通交流阻直流的特性，把手指和触摸片当成电容器的两个极片，手指和触摸片之间的绝缘材料就是电容器中的隔离介质。对了，另外还需要一个交流信号源的接触片，让它与信号输入的触摸片平行放置。当手指按到触摸区域时，一个交流回路就形成了。触摸片输入端可以收到与交流信号源相同的信号，这一信号的特性随着手指触摸面积和绝缘介质的厚度和材质而变化。看到这一原理，我闭上眼睛，用想象力构建一个单片机实验平台，用PWM功能产生交流信号，再用ADC功能作为触摸片输入端的信号读取，用给单片机下载的RS232串口和串口助手软件在电脑上显示出ADC接收到的数据。

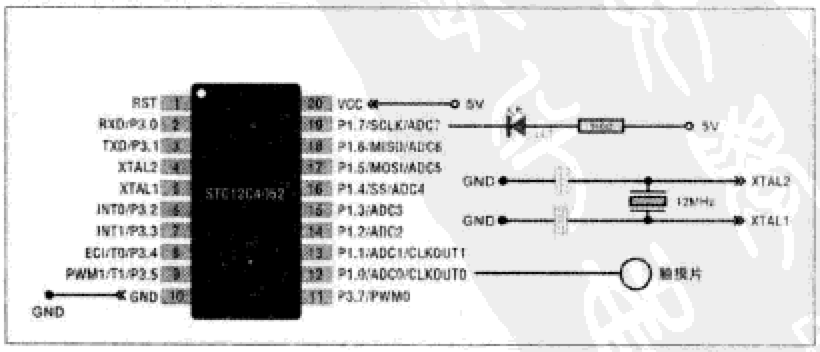
嗯，这个想法是可行的，于是我开始行动，把想象的实验用实际的电路组建。这次依然使用了我所熟悉的STC单片机，STC12C5A60S2具有2路PWM输出和8路10位ADC功能，完全可以满足我的实验需要。电脑上直接用STC-ISP软件自带的串口帮助软件就可以显示十六进制的数据了。我在自己的网站里找到ADC和PWM功能的编程模板，新建立一个KEIL工程，开始移植模板、设计程序。程序很简单，就是一直读取ADC输入引脚的数据，从0×00到0×FF之间即表示0V到5V的电压值。PWM输出38kHz的方波信号，占空比调整到50%。硬件电路方面则是用了两片金属片作触摸片，一片连接到PWM输出引脚，另一片连接到ADC输入引脚，两个触摸片尽量靠近但不能碰上。绝缘介质没有精心选择，只是找到一张名片，这是目前可以找到的最佳材料了。连接用的是普通的导线，先不去考虑外来的干扰问题。

一切就绪，开始实验。接通电源，单片机开始工作，串口助手的接收窗口不断显示出 ADC 的读数。在没有手指按压的时候，ADC 的读数范围是在 0×20 到 0x70 之间，数据的变化看上去没有规律。可是当我的手指按在名片上的时候，特别是靠近 ADC 输入端触摸片的时候，ADC 的读数是在 0×10 和 0×FF 之间有规律地跳变，不过跳变的频率并不快。这一实验结果给了我信心，我又继续实验，用手掌触摸、拿开名片直接接触触摸片、把名片换成玻璃片、用手触摸导线、用手触摸单片机的引脚，把每一项实验的结果记录下来，感觉成功离我不远了。PWM 输出好像是必须的内容，不然没有交流信号源，也就不能产生电容回路了。那么我改变 PWM 的频率，ADC 的读数会不会也随之变化呢？于是我把用 PWM 功能实现的交流输出改成了用 I/O 接口模拟，因为这样一来，在程序上更容易控制输出方波的频率。我试着把频率从 1Hz 开始慢慢调整到 1kHz，在此过程中不断地用手指触摸，看看 ADC 读数有什么变化。结果证明，变化是有的，可是不明显，任凭方波频率怎么变换，ADC 读数一直在一个固有频率周围徘徊。于是我试着关上方波输出，看看 ADC 读数的固有频率是不是来自方波以外的什么东西。果然，关掉交流信号输出，ADC 还是可以读到固有频率的数据，在 0×10 和 0×FF 之间交替。当拿开名片直接触摸 ADC 输入引脚时，0×10 还会变成 0×00，也就是 0V。这一结果让我兴奋，因为不需要交流信号源也可以读到一定频率的 ADC 交流数据，可是这一频率又是哪里来的呢？这个问题一直困扰着我，因为急于想实现单片机精简电容式触摸技术，所以就没有花时间认真研究这一频率的来历。可能是 50Hz 的市电频率在人体上的干扰，或是人体自带的杂波电流独有频率。我又考虑到这种频率会不会是我实验场地这里特有的什么干扰，于是我又去了另外一些地方做同样的实验，结果证明并不是实验场地的问题，这一频率依然是一个未经探索的秘密。

对固有频率的无知并不影响制作电容式触摸操作，这是让我很开心的事情，不然我还需要做一大堆实验来深入研究下去。当然，我以后会研究的，只是现在我最有兴趣的是实现电容式触摸。好的，我们整理一下思路。现在我们通过实验得到了这样的结果，硬件电路上只需要一个触摸金属片连接到单片机的ADC输入引脚，手指隔着名片触摸操作时，ADC的读数会在0×10和0×FF之间以一定的频率交替变化，



单片机实现电容式触摸开关



电容式触摸开关实验电路原理图

在没有手指触摸时，ADC的读数会在0×20和0×70之间交替变化。这些数据可能在环境不同时有所不同，但不变的是当手指触摸时ADC读数的变化数值会比没有触摸时大。有了这一项实验现象作为支点，我们接下来要做的就是用单片机处理ADC读数，判断数值变化的规律，从而得知是否有触发。编程并不难，每个人都可以有自己的数值处理方式。下面给出一段我编写的电容式触摸按键的源程序，大家可以参考，但这并不是唯一的处理方式，还会有更好的方法等着你去发现呢。

"电容式触摸开关实验"是我制作的一款简单的触摸开关，在单片机的P1.7接口上接一个LED，使用连接在P1.0接口上的触摸片来控制LED的亮或灭。你可以直接制作这个触摸开关，以此了解电容式触摸的性能。当然，这也是一个很好的实例，参考电路原理图和源程序就可以了解其工作原理。只要在源程序上稍微修改就可以制作属于你自己的电容式触摸作品了。在制作电容式触摸操作作品的时候需要注意一些问题，这些问题并不是从什么专业机构找来的资料，而是我通过实验总结出来的经验，仅供大家参考。另外，对于没有交流信号源参与的电路是否可靠我还没有研究，这一制作是在我的几个实验环境下完成的，并不能表示在你的环境里也可以实现。本文介绍的电容式触摸技术仅算是抛砖引玉，也是大家和我一起共同验证的过程，看看我还有哪些没有考虑周全的地方。欢迎读者朋友把你的想法和建议与我交流，我真的很希望和大家一起把这项技术改进到和专业的触摸芯片媲美。

注意事项：

- ◆ ADC读数和ADC位数、采集速度具有一定关系。
- ◆ 使用电池供电和使用市电供电时ADC的读数也有区别。
- ◆ 使用电池供电时电容式触摸的灵敏度较市电供电时低。
- ◆ 不用绝缘介质下ADC读数变化有所不同。
- ◆ 连接ADC输入端的触摸片的面积也会影响电容式触摸的灵敏度。
- ◆ ADC读数只是在某一个数值的区间，为了判断可靠，需要设计防误判程序。

细心的朋友可能注意到了，我在源程序中ADC读数部分加入了防误判程序，实践证明这是非常有必要的。其实防误判程序就是通过连续多次读取ADC数值，然后把多次读到的结果进行对比。如果有外部干扰或是ADC读数错误，在这个对比的过程中就会被发现，即达到防干扰、防误判的作用。电容式触摸开关实验的源程序文件请到《无线电》杂志网站上下载。

防误判部分源程序

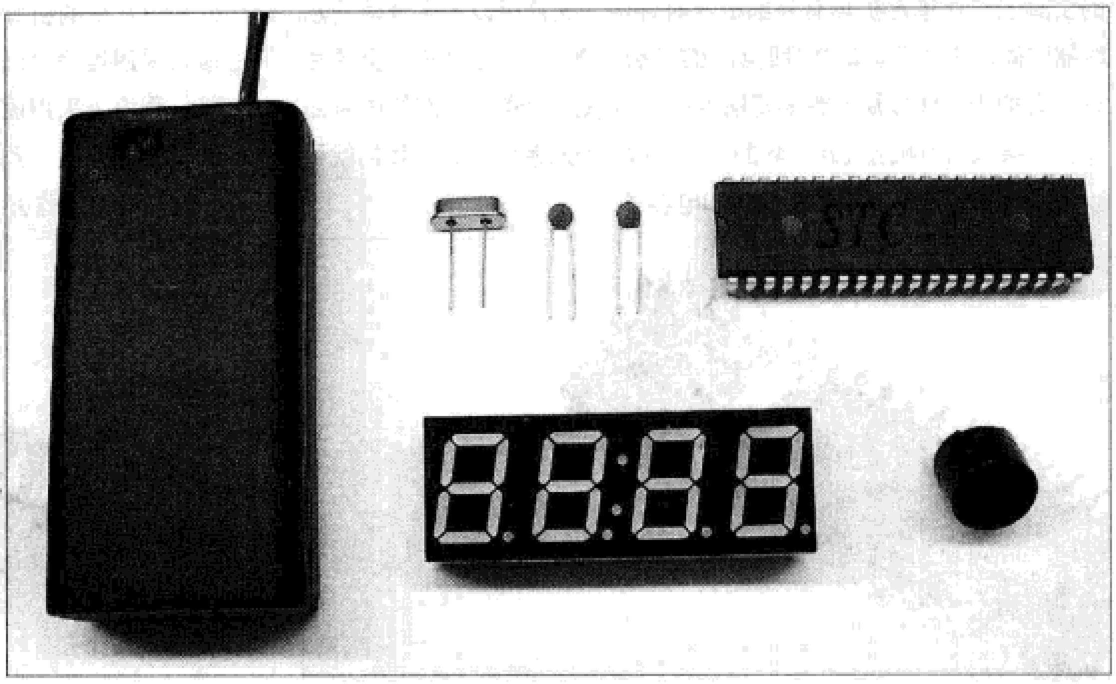
```
/***********************************************************************
函数名：触摸按键处理函数
调 用：? = Read_R ();
参 数：无
返回值：bit 1表示有感应物，0表示没有感应物
结 果：
备 注：需要根据实现应用调协灵敏度和其他参数
***********************************************************************/
bit Read_R (void){
    unsigned char R,ii,m=0,i,j,k;
    bit aa;
    for(ii=0;ii<3;ii++){ //循环检查防干扰
        j=0;k=0;
        for(i=0;i<10;i++){ //一次采集数据的数量
            DELAY_MS (3); //3毫秒延时
            R = Read (0); //ADC读取数据
            if(R < 0x2F){ //此参数可调整感应灵敏度值在0x01
到0x2F
                k++; //波谷计数加1


            }
            if(R == 0xFF){ //ADC读数的最大值必须等于0xFF
                j++; //波峰计数加1
            }
        }
        if(k>1 && j>1){ //触摸波形的数量积加m的值
            m++;
        }else{
            m=0; //如果波形条件不符合则m=0
        }
    }
    if(m>2){ //根据m的数值判断是否有感应物体
        aa =1;
    }else{
        aa=0;
    }
return(aa); //将aa作为返回值
}
***********************************************************************/
```

制作mini48定时器

虽然上文介绍了这么多关于电容式触摸技术的内容，可是我们下面要完成的制作却是使用了电平式触摸技术。因为电容式触摸的设计还没有成熟，还有可改进的空间。另外我手上目前还没有什么基于电容式触摸技术的作品，虽然我正在开发的mini3216准备使用电容式触摸按钮，可是mini3216的创新重点并不是电容式触摸，而是比电容式触摸更好的设计。为难之下，我将mini48定时器作为这一期的制作实例。尽管是电平式触摸，但mini48的精巧设计定会给你带来创新的启发。Mini48定时器依然是我的精简电路设计风格，它的设计理念延续了mini1608，又另有独特之处。电池盒、单片机、晶体、电容、蜂鸣器、数码管，几种元器件打造简单的定时器制作，我相信这是你所见过的最简单的定时器制作。Mini48采用4位共阳一体数码管，用来显示定时值的小时和分钟，最大定时时间是23小时59分。时间到时蜂鸣器会鸣响，提示用户定时时间到。如果鸣响1分钟依然没有关闭电源，单片机就会进入掉电模式，在此模式下系统几乎不耗电。时间的设定没有采用传统的微动开关，而是采用了电平式触摸技术，当手指触摸数码管各位上方对应的单片机引脚时，定时值就会加1，设置简单，操作还很有趣。电路设计方面没有使用PCB板，而是将单片机与数码管直接焊接在一起，这也得益于元器件特有的结构，诸多创新设计都来源于发现元器件结构和性能方面的巧合。

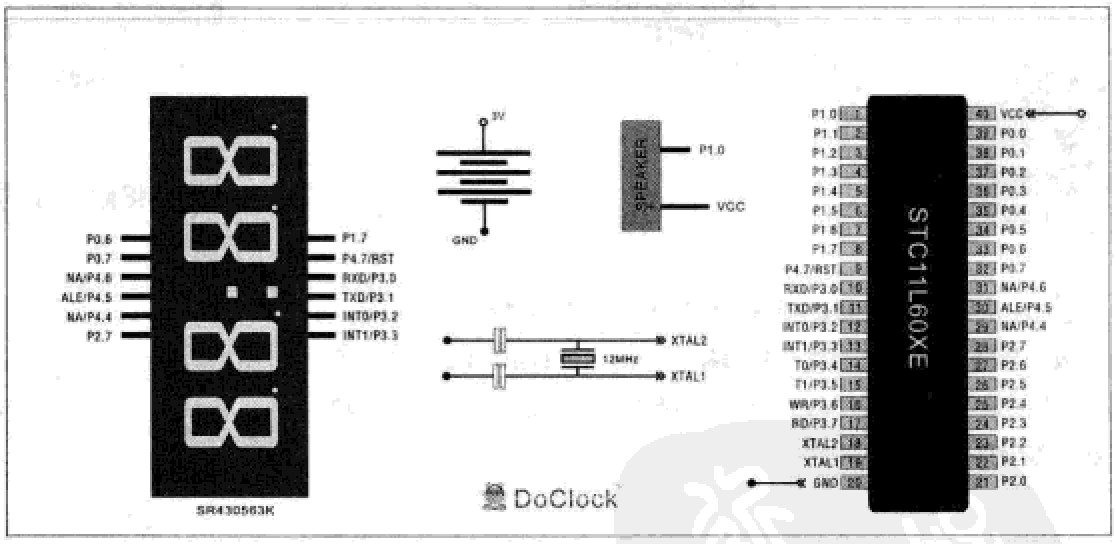
好了，闲言少讲，开始行动吧。文中使用的是STC11L60XE，这是一款3V电压的单片机，可以用2节5号（AA）电池供电。如果你买不到3V单片机，也可以使用STC11F60XE或者STC12C5A60S2系列等5V的单片机代替，当然电源也要跟着换成3节5号电池。不能用89C51系列单片机代替，因为89系列的单片机比较古老，不能实现电平式触摸。蜂鸣器要购买那种无源的，如果你想减小体积也可以用压电陶瓷片代替。数码管需要是4位共阳的指定型号，其实就是引脚定义要一致，数码管的体积过大或过小都不能正好焊接在单片机上，所以这个部分一定要注意。

所需元器件



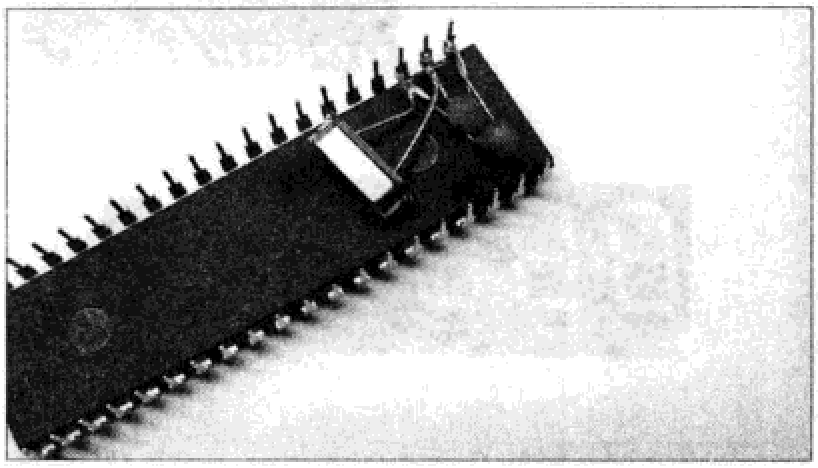
元器件清单

品名	型号	数量	说明
单片机	STC11L60XE	1	可用STC12C5A60S2等5V单片机代替
晶体	12MHz	1	
电容	30pF	2	
电池盒	2节5号（AA）	1	电池盒上要带有开关
蜂鸣器	5V无源	1	可用压电陶瓷片代替
LED数码管	SR430563K	1	4位共阳动态显示

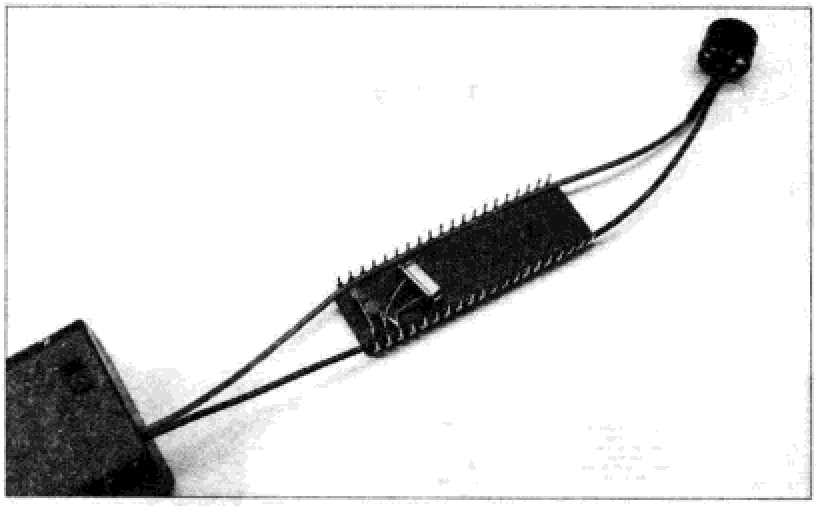


电路原理图

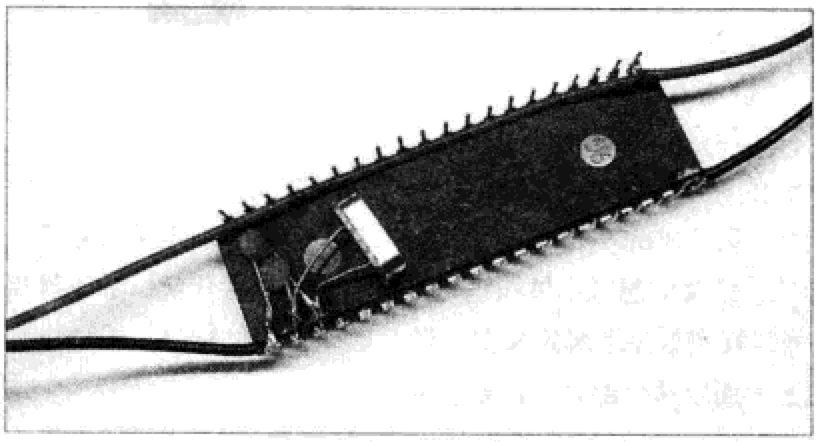
第1步：将12MHz晶体和30pF电容按电路原理图焊接在单片机背面的引脚上。让单片机具有外部精准时钟源，这样可以产生准确的定时器时间。在我写这篇文章时听说STC公司新推出一款15C系列单片机，它的内部R/C振荡器是高精度的，可以完全省去外部的时钟晶体。如果以后有机会把mini48的单片机改成15C系列的话，我们就可以省去这一步，不需要焊接晶体和电容了。



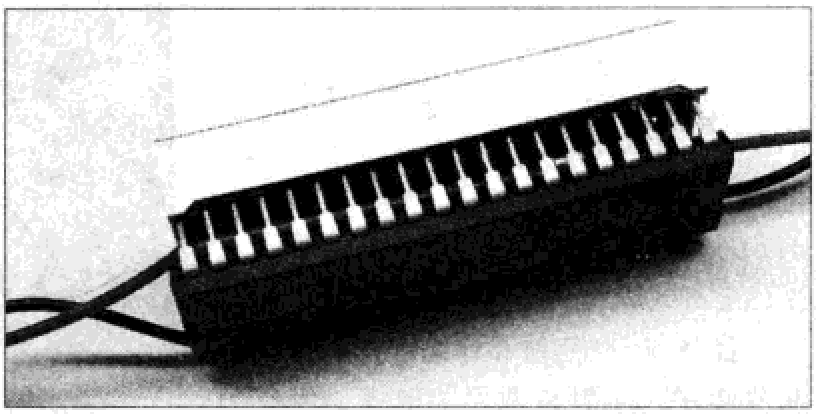
第2步：把电池盒上自有的导线焊接在蜂鸣器上，并把焊接处用热缩管包好。注意无源蜂鸣器也是分正、负极的，不要接反。这样的焊接并不是最终的电路，一会我们还要把导线从中间剪断。



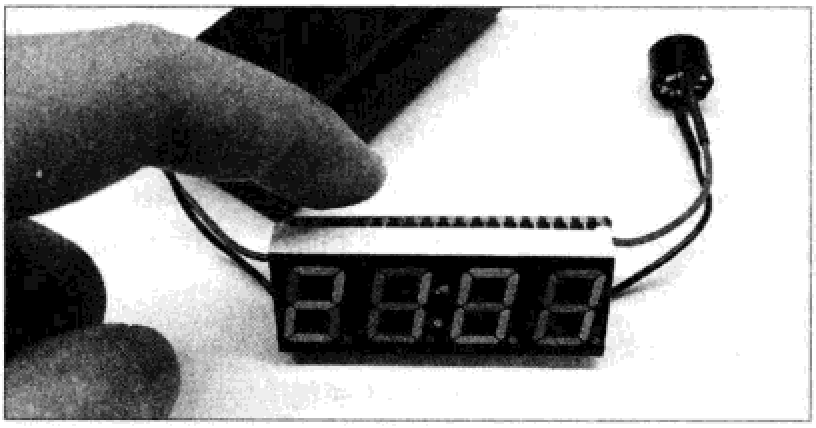
第3步：把电池盒正极的导线（红线）并联在单片机的第40脚上。负极的导线剪断，电池盒一端焊接在单片机的第20脚上，蜂鸣器一端焊接在单片机的第1脚上。如此焊接之后，电池盒、单片机、蜂鸣器三者仍然保持了原来的结构。



第4步：把数码管直接焊接在单片机上。奇妙的是数码管的引脚正好和单片机的引脚相对应，好像是为其量身定做的一样。单片机I/O接口采用推挽输出方式，可以直接驱动数码管显示，不需要驱动电路。程序上采用逐点扫描方式，省去了限流电阻，并保证数码管上的各段码亮度一致。数码管上方对应的单片机引脚正好设计成电平式触摸按键，省去了微动开关，让设计更加简洁。



第5步：打开电源开关，系统初始从3分钟开始倒计时。触摸小时和分钟各位上方对应的单片机引脚就可以将此位加1，加到9时返回到0，从而调整定时时间。



Mini48制作时需要注意以下事项：

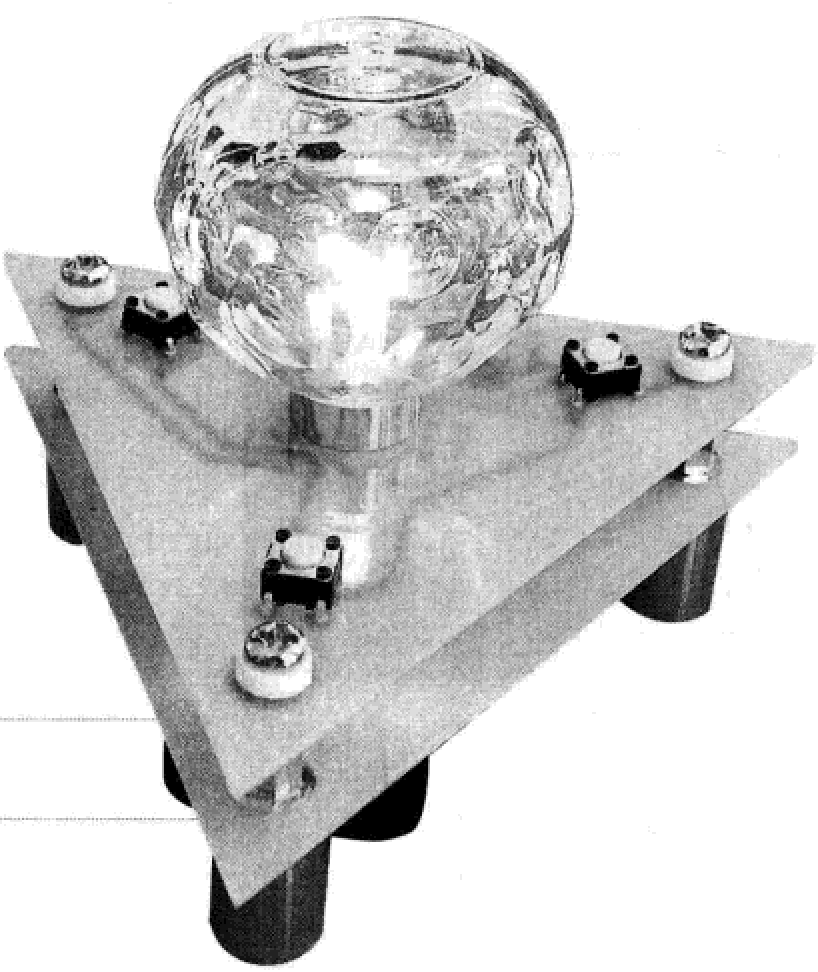
在向mini48写入HEX文件时，需要在STC-ISP软件中设置RET为P4.7接口，否则数码管不能正常显示。如果使用与本文中引脚定义不同的数码管，需要在mini48源程序中修改引脚定义，否则不能代替使用。STC单片机内部具有静电保护电路，所以直接触摸引脚不会出现静电损坏芯片的情况。

触摸技术在电子产品中的应用已经很成熟了，可是在电子爱好者的圈子里却还是个新鲜玩意。对于电平式和电容式触摸技术，我所做的研究仍然不够。本文只是希望用我们电子爱好者现有的技术和材料实现与专业触摸芯片同等的性能，让触摸技术可以在电子爱好者的圈子里兴起。让更多的朋友对单片机实现触摸技术产生兴趣，从而让更多的人研究它，让它成熟起来，让我们在微动开关、薄膜键盘之外多出一个选项。让触摸技术的普及带动电子制作的创新，让我们这群废寝忘食的电子爱好者们玩得更新颖、更时尚。

个性七彩小夜灯

制作调试篇

◎刘宁



上一期介绍了个性七彩小夜灯的设计和原理，本期介绍具体的制作和调试，马上开始动手吧。

PCB设计与制作

为了满足整体造型、体积以及底座功能的具体要求，本小夜灯PCB分为2块来设计。控制电路和电源电路分别布局在1块边长约87mm的正三角形电路板上，这2块电路板在安装时通过金属支撑柱来实现电气连接。控制电路和电源电路都比较简单，器件也相对较少，采用单面板即可满足布局要求。整个电路工作电压较低，工作电流也很小，PCB走线宽度和间距无特殊要求。布局好的电路板如图1所示。

PCB布局好后可以委托工厂加工，也可以自制。笔者制作电路所使用的PCB是用感光板自制的，如图2所示。

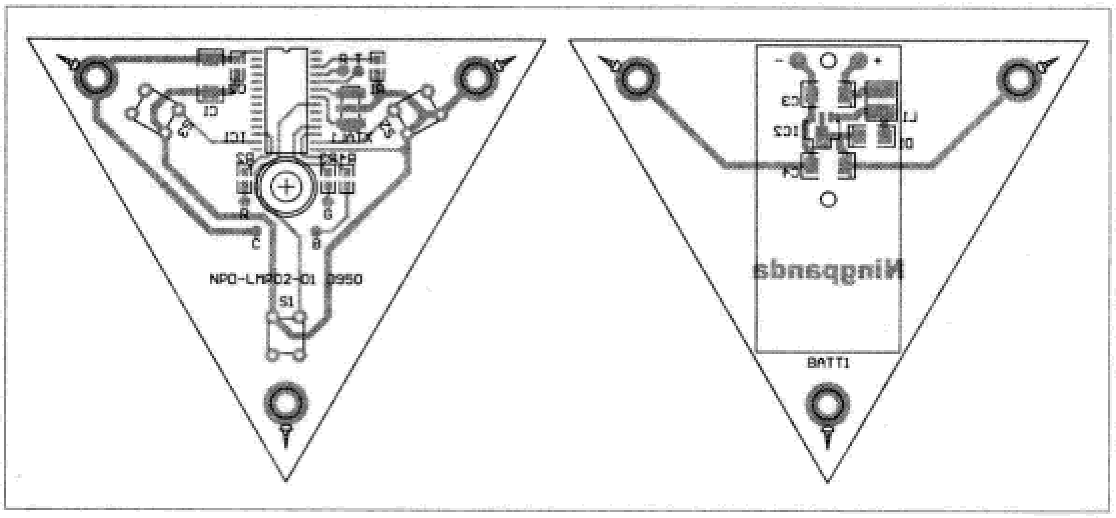


图1 PCB布局图

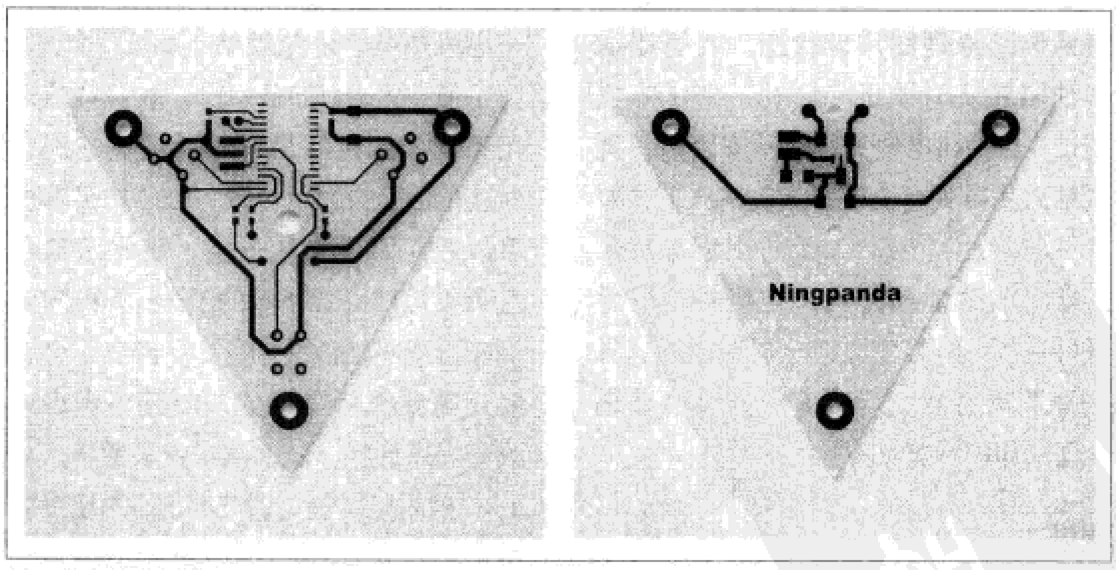


图2 用感光板自制的PCB

元件选择与电路制作

制作本小夜灯电路所需要的元器件不多，但各器件都应按要求选择。IC1选用SOP-28封装，IC2选用SOT-89封装。R1～R4均选用0805系列贴片电阻，C1、C3和C4均选用C型尺寸贴片钽电解电容，C2选用0805系列贴片电容，L1选用CD43型贴片线绕电感。XTAL1选用PBRC-B系列或与之兼容的其他型号贴片陶瓷振荡器，S1～S3均选用6mm×6mm小型直插按键。

为了便于将LED装入灯罩，并获得更好的混色效果，这里光源没有采用3个单色LED，而是采用了1个全彩LED。

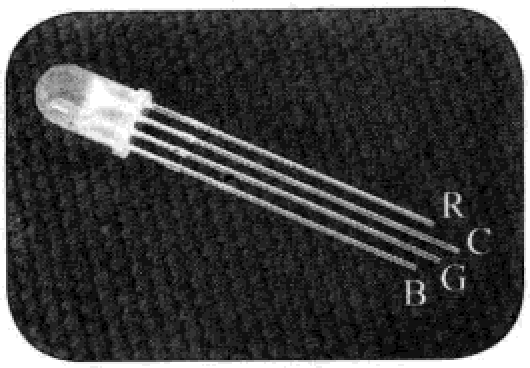


图3 全彩LED引脚排列

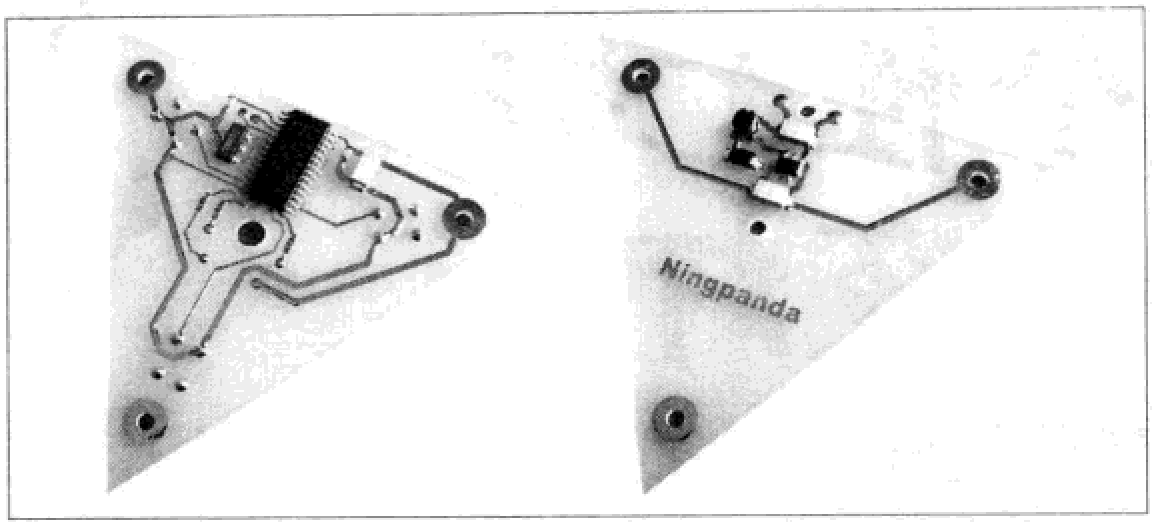


图4 焊接好的电路板

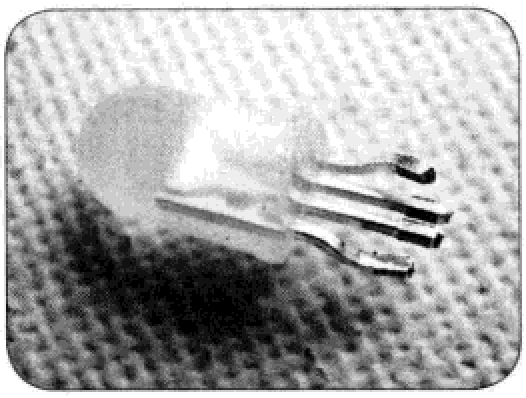


图5 LED引脚的加工

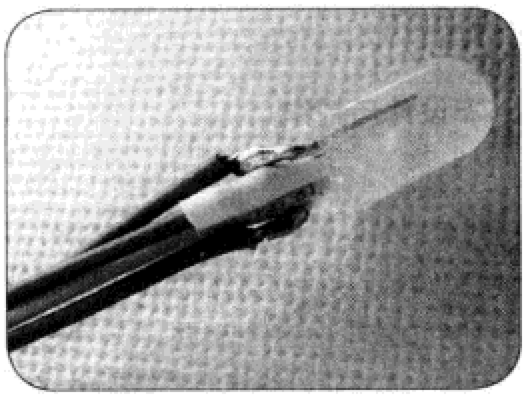


图6 焊接好连接线的LED

全彩LED也叫七彩LED或三色LED，其内部封装有红色、绿色和蓝色三种颜色的LED管芯，它在使用时相当于3个LED。全彩LED内部各LED其中一端连在一起形成公共端，加上各LED的另一端它共有4个引脚，排列如图3所示（少数产品可能与此不同，具体以产品资料或实际测量为准）。根据公共端极性的不同，全彩LED可以分为共阴和共阳两种，按电路要求，这里采用后者。根据外观和制造工艺的不同，全彩LED又可以分为透明和雾状（类似磨砂灯泡的效果）两种，为了使光线更加自然、柔和，制作时最好选用后者。市场上全彩LED的尺寸规格多为*Φ*5，制作时选用这种规格即可。

BATT1为2节串联的AAA（7号）1.5V电池，制作时应通过配套的电池夹（电池盒）来安装。

电路中绝大部分器件为贴片器件，焊接时要特别仔细，以免出现短路、虚焊等缺陷。各器件焊接好后应对照电路原理图反复检查，若有错误和缺陷要及时改正和修补。为了方便调试，LED和电池夹可暂不安装，待调试结束后再另行安装。自制的PCB表面往往没有阻焊层，为了防止铜箔氧化影响电气性能和外观，电路焊接好后最好在PCB铜箔表面镀一层锡或涂一层松香酒精溶液。焊接完成并经过镀锡处理的电路板如图4所示。

调试

小夜灯控制电路和电源电路相互独立，这两部分电路的调试也应分开进行，以免彼此牵扯而影响电路测试和故障判断。

控制电路调试前要预先对LED进行加工，以满足调试和安装的要求。加工时先将LED各引脚从靠近其根部的凸起处剪断，再将外侧的2个引脚向内侧弯折，如图5所示。之后在LED各引脚上分别焊接1根长约10mm的细导线，并在LED内侧的2个引脚的焊点处各套一小段热缩管以免短路，如图6所示。为了便于区分LED各引脚，各导线应选用不同的颜色且最好与所连接的引脚对应的LED的颜色一致。LED加工好后可以在灯罩上试装一下，若无法放入灯罩则应将LED外侧的2个引脚再向内侧弯折或将LED的“帽沿”剪去，必要时还需要重新焊接导线以减小焊点或改变焊点形状，从而满足安装要求。

控制电路调试时先将LED的连接线按电路原理图焊接在控制电路板上，再在控制电路板上两电源输入端以及RXD和TXD端各焊接1根导线，分别与4.5V电源和编程电路相连。以上均为临时性连接，因而对焊接质量以及外观没有太高要求。为了能够持续准确地检测电路，调试应使用稳压电源，不要使用电池。电路连接妥当后仔细检查几遍，确认无误后即可上电将程序下载至单片机内，之后重新上电对按键功能和LED状态进行全面测试。本电路及程序相对比较简单，调试一般不会有太大问题，但有一点要特别注意。本电路的待机电流不应超过1μA（正常情况下一般约为0.1μA），待机电流偏大（功耗偏高）时要仔细检查电路和程序，而不能轻易忽略，否则在实际使用时会浪费电池电能。此外，在调试过程中若发现LED的亮度或混色效果不理想，可以通过适当调整R2～R4的阻值来改善。

电源电路调试时，在电源电路板上两电源输入端各焊接1根导线与3V电源相连，这里同样使用稳压电源来调试。上电后在空载的情况下测量电路

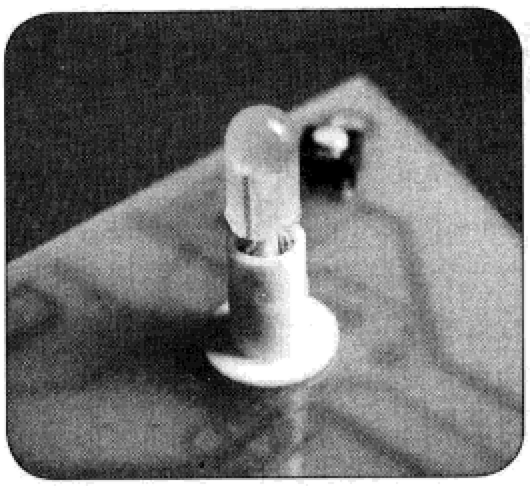


图7 LED的安装

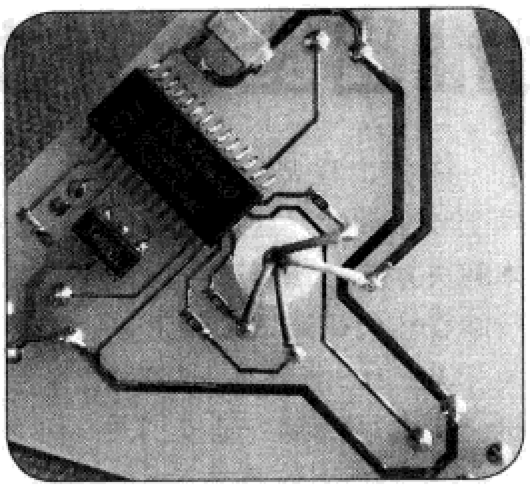


图8 LED连接线的焊接

的输出电压，此时应略高于4.5V，如果偏差较大应立即断电检查电路。同样在空载的情况下测量电路的输入电流，此时应在20μA以下（正常情况下一般约为10μA），否则要仔细检查电路。VD1的反向漏电流I_R偏大、C3和C4的漏电流偏大、IC2性能不良以及电路短路等都可能导致输入电流偏大（功耗偏高），检查电路时要特别注意以上几点。与调试控制电路一样，功耗问题不能轻易忽略，调试时要有足够的耐心，力争将功耗降至最低，这一点对调试采用电池供电的电路至关重要。空载测试正常后用1个100Ω/0.5W的电阻作为负载进行带载测试，在测试过程中，电路的输出电压应始终保持在4.5V左右，如果电压变化范围较大则还需进一步检查和调整电路。

组装

小夜灯的零部件相对比较多，组装应按一定的步骤进行，主要包括LED安装、电池夹安装、支撑柱安装和底脚安装4个步骤。

1. 安装LED

安装LED时，首先将香水瓶的瓶塞芯（原香水瓶喷雾机构的一部分）穿过控制电路板中心的孔，套上瓶塞将之卡紧，然后将LED连接线从瓶塞芯穿过并拉紧，如图7所示。之后根据控制电路板上LED连接端焊盘的位置剪去LED连接线多余的部分，并将其焊接在电路板上，如图8所示。最后将加工过的卡环（原香水瓶瓶口处的装饰部件）和香水瓶套在瓶塞上，如图9所示，若香水瓶与瓶塞无法套紧则应在两者表面涂少许万能胶后再安装，以确保结构牢固。

2. 安装电池夹

安装电池夹时，首先将电池夹用海绵双面胶粘贴在电源电路板上，粘贴时要将电池夹的连接线从电路板边缘的穿线孔穿过，并且要将电池夹的安装孔与电路板上相应的孔对正，使电池夹居中，然后用螺钉通过安装孔进一步将电池夹固定妥当，如图10所示。最后根据电源电路板上电源输入端焊盘的位置，剪去电池夹连接线多余的部分，并将其焊接在电路板上，如图11所示。

3. 安装支撑柱

支撑柱不仅用来支撑2块电路板构成底座，它还起着连接控制电路和电源电路的作用，因此支撑柱最好选用铜质镀镍两头内螺纹支撑柱，以保证电气性能和外观效果。支撑柱共需要3个，通过M3螺钉将其与控制电路板固定在一起，如图12所示。安装时螺钉一定要旋紧，使支撑柱与控制电路板铜箔可靠接触。

4. 安装底脚

底脚的主要作用是支撑底座，使电池夹悬空。这里底脚用小型铝质电位器旋钮来制作，制作时先将旋钮内的塑料芯去掉，再在旋钮顶部的中心钻1个直径为3mm的孔即制作完成，如图13所示。这种自制底脚外观非常好，与整体造型风格也比较一致。与支撑柱一样，底脚也需要3个，通过M3螺钉来安装，如图14所示。底脚安装的同时也将支撑柱与电源电路板固定在了一起，安装时螺钉同样也要旋

图9 香水瓶的固定

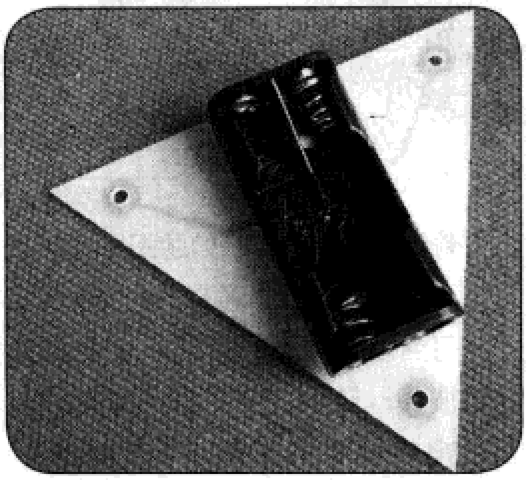


图10 电池夹的安装

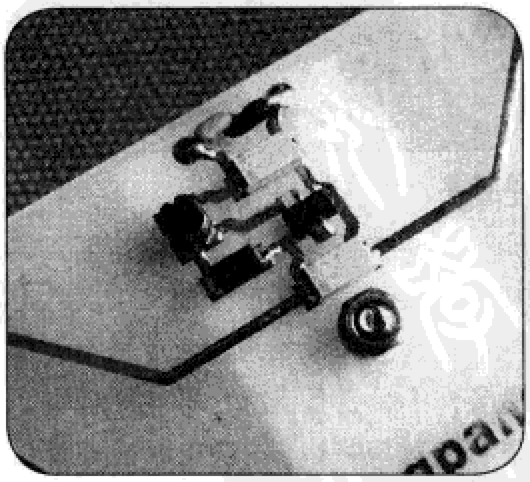
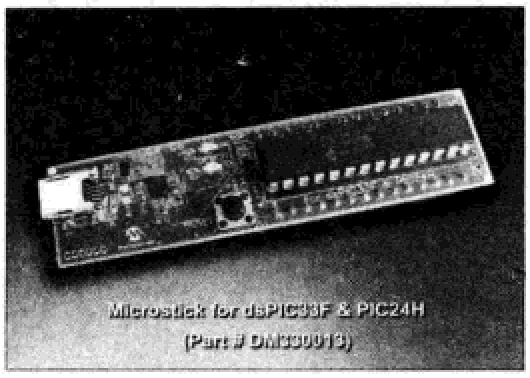


图11 电池夹连接线的焊接

Microchip公司推出全新开发板Microstick



Microchip Technology Inc.（美国微芯科技公司）近日宣布，推出针对dsPIC33F和PIC24H的开发板Microstick，以紧凑的20 mm × 76 mm的外形尺寸为使用Microchip 16位PIC24H单片机和dsPIC33F数字信号控制器（DSC）进行设计提供了一个完整的低成本解决方案。Microstick是一个低成本的集成式USB编程器/调试器，可缩短学习曲线。Microstick可以单独使用，也可以插入一个原型板中使用，有很大的灵活性。此外，教育工作者还可以享受25% 的折扣。

许多工程师、教育工作者、学生和业余爱好者都需要一个低成本解决方案对16位单片机和DSC进行编程和代码调试。除了其他优点外，Microstick还装有一个插槽式单片机，可以方便地进行插拔。Microstick可以与业界性能最高的16位单片机PIC24HJ64GP502，以及在一个架构中完美结合DSP和MCU资源的dsPIC33FJ64MC802 DSC协同工作。软件支持包括同样免费的MPLAB集成开发环境（IDE）和软件库，两者均可与Microchip的8位、16位或32位PIC® 单片机和DSC协同工作。此外，Microchip针对MPLAB 语言和Simulink环境的器件模块集免费演示版也支持dsPIC33F DSC，可在MPLAB IDE内无缝运行。

这一成本低廉的工具与免费软件的组合为智能传感器和大量其他嵌入式控制应用提供了一个行业领先的实验和开发平台。

Microchip开发工具部副总裁Derek Carlson表示：“Microstick是所有需要以一个完整的低成本开发解决方案实现性能最高的16位单片机应用的理想选择。我们的团队与大学教授合作，以确保这个开发板非常适合他们的课程，这个平台还可以为那些想要开始着手嵌入式开发的众多设计人员带来好处。”

供货情况

针对dsPIC33F和PIC24H的Microstick（部件编号DM330013）已在http://www.microchip.com/get/3PXP提供。工具包中包括dsPIC33FJ64MC802 DSC和PIC24HJ64GP502单片机。教育工作者可以享受25%的折扣。欲了解更多信息，请联络Microchip销售代表或全球授权分销商，也可浏览Microchip网站http://www.microchip.com/get/LBHK。

(资料室)

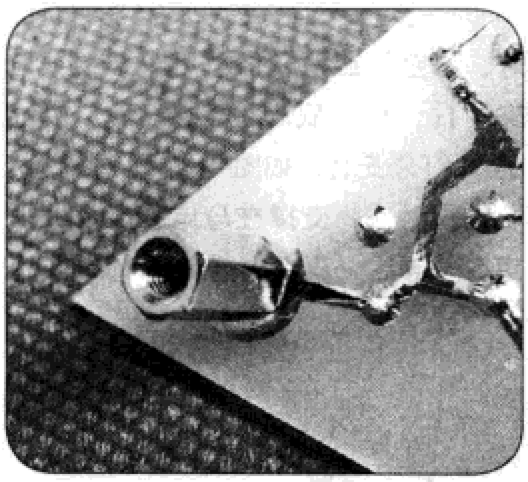


图12 支撑柱的安装

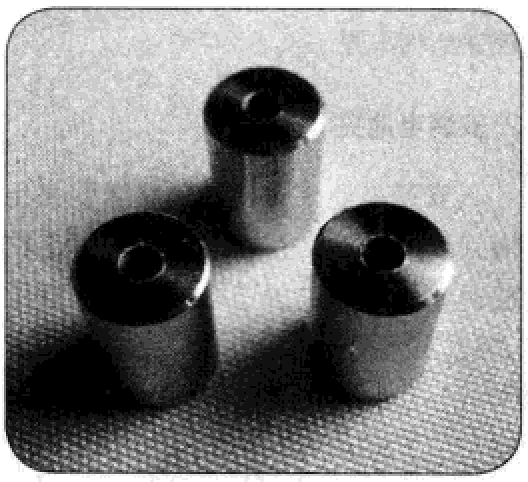


图13 用旋钮自制的底脚

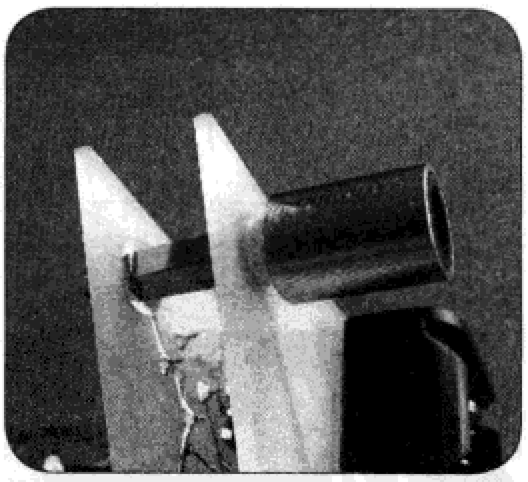
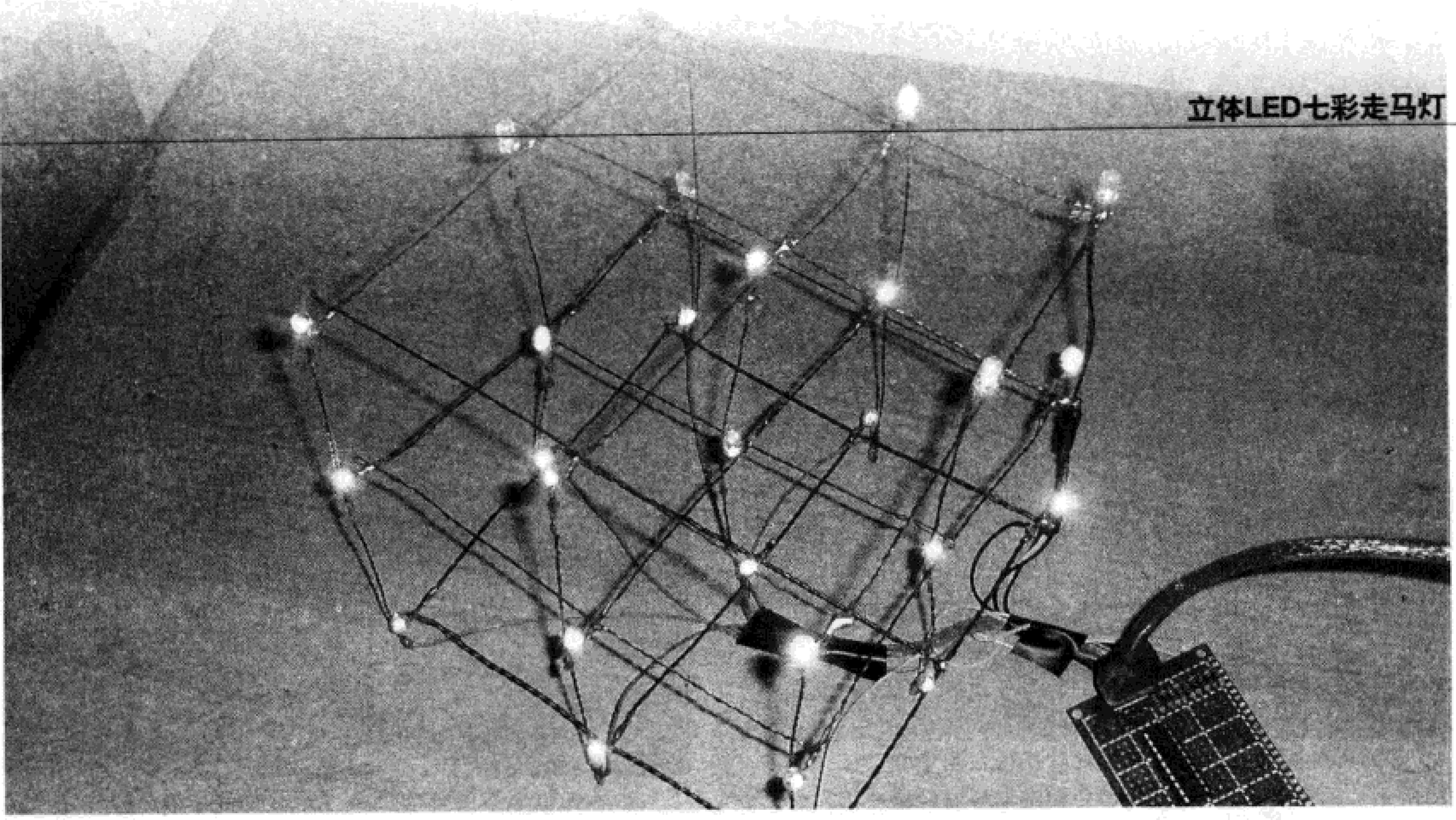


图14 底脚的安装

紧，使支撑柱与电源电路板铜箔可靠接触。组装完毕后在电池夹内装入电池，小夜灯即可使用。若电路不工作则要仔细检查各支撑柱与电路板铜箔是否接触良好以及2块电路板安装是否错位等，直到发现问题排除故障为止。制作完成的小夜灯如题图所示。

制作这样一个彰显个性的小夜灯，每当夜幕降临后点亮，各色灯光此起彼伏，望着它定然是十分惬意，有兴趣的读者可以制作一个感受一下。读者在制作时可以根据实际选择的灯罩修改小夜灯的外观和结构，也可以通过修改程序中各模式显示状态表的数据来增删显示花样或改变各显示花样对应的各路LED的状态。此外，读者还可以以此为参考，设计制作出更多更有个性的电子制作精品。



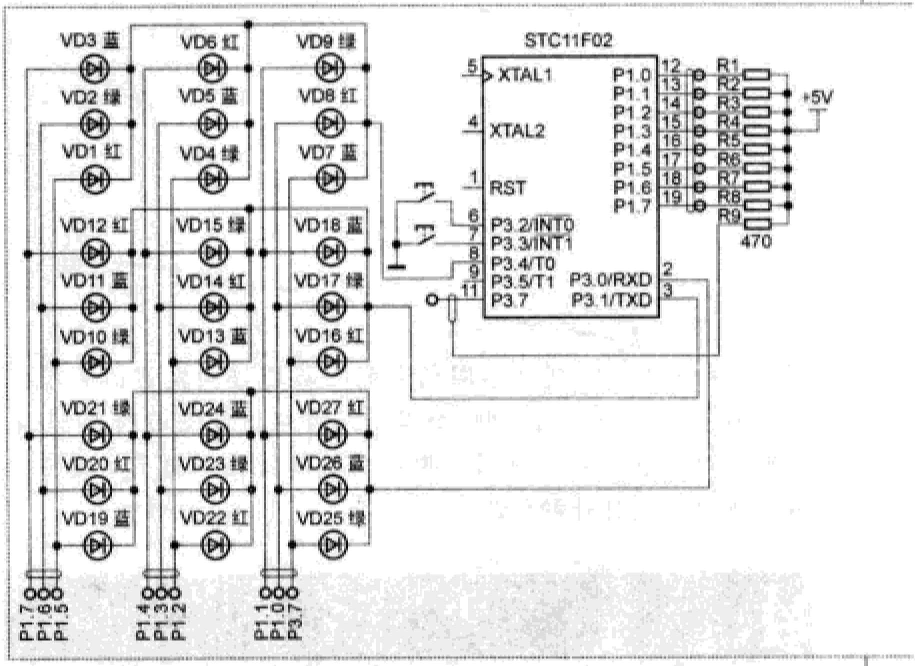
立体LED七彩走马灯

◎伍浩荣

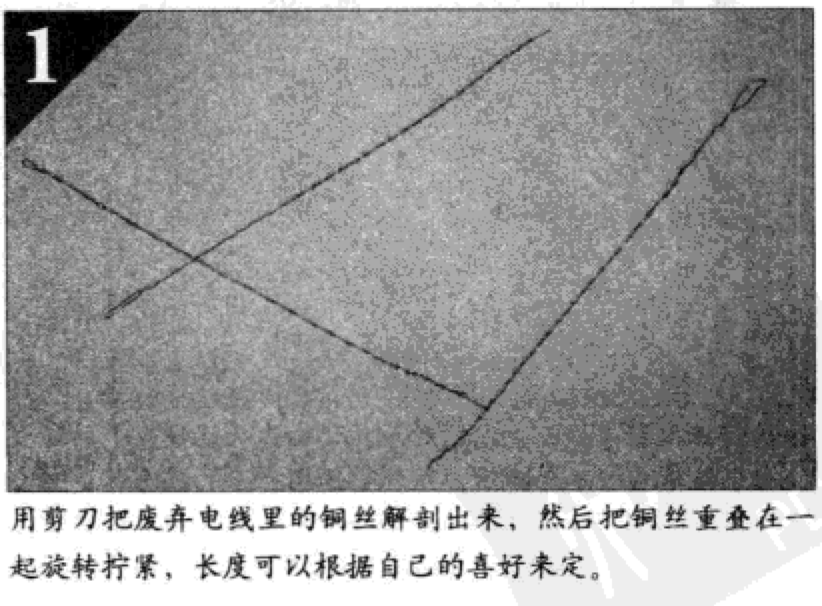
自然界有许多有趣的规律，这些规律不止在一方面适用，在相似的另一方面也存在同样的规律。举个几何上的例子：点的移动成为线，线的移动形成面，面的移动形成立体。受以上思维的影响，用同样的规律类比在LED上，一个LED可以做成频闪灯，一直线排列的LED可以做成走马灯，一个正方形的LED可以形成点阵，那么，根据这条规律，能否做一个立体的LED呢？在这个想法的吸引下，小弟我根据实践，用了一番时间，制作成了一个在立体上显示的走马灯，把LED制作成一个立体的形状，这样就不仅把走马灯的花式局限于平面了，题图是制作完成后的样子。

电路很简单，只有驱动和LED显示部分，每行由红绿蓝LED排列成不同顺序，以避免相连的两个LED有相同的颜色，显示出七彩缤纷的效果，按键用来切换流动花样和循环全部花样，所需器件包括：20脚STC11F02单片机1块（可以用同类的STC的20脚单片机替代）、5cm×7cm万用板一块、470Ω电阻9个、微动按键2个、红绿蓝LED各9个（最好选用高亮的LED）、裸露铜线若干条、排线若干条。

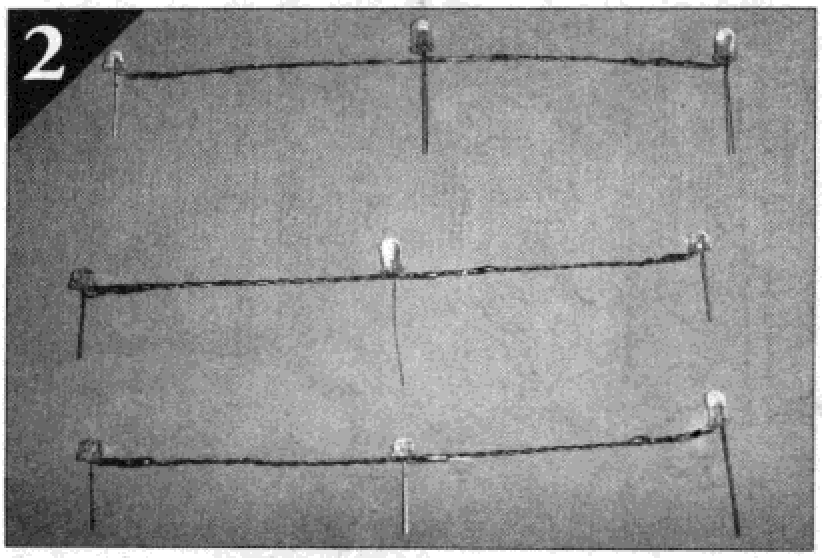
如电路图所示，LED排列成上、中、下3层，每一层LED的负极分别接到不同的I/O口上，9个LED也接到不同的9个I/O口上，这样，想让哪一个LED亮就给予哪个I/O口高电平，而这一层控制的I/O口就赋给低电平，由于I/O口输出的电流很小，所以还要加上470Ω的上拉电阻给予足够的电流驱动LED，由于要求每组LED颜色不同，所以制作时必须按照电路图所示的颜色来排列。好了，小提了一下工作原理，下面就跟我一步一步地制作吧！



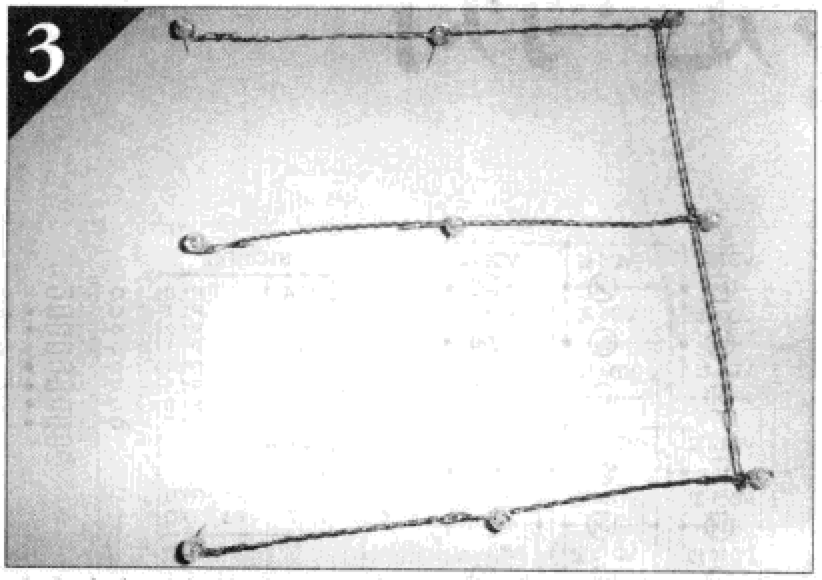
1



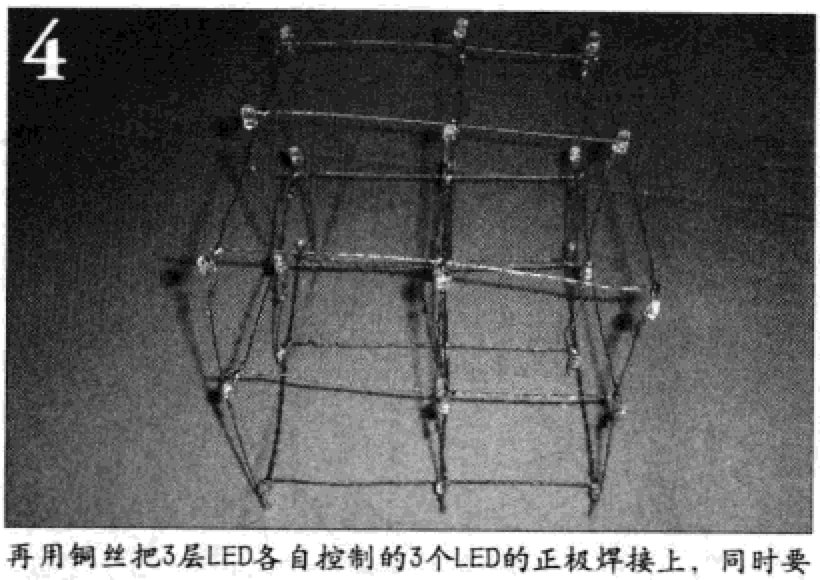
用剪刀把废弃电线里的铜丝解剖出来，然后把铜丝重叠在一起旋转拧紧，长度可以根据自己的喜好来定。



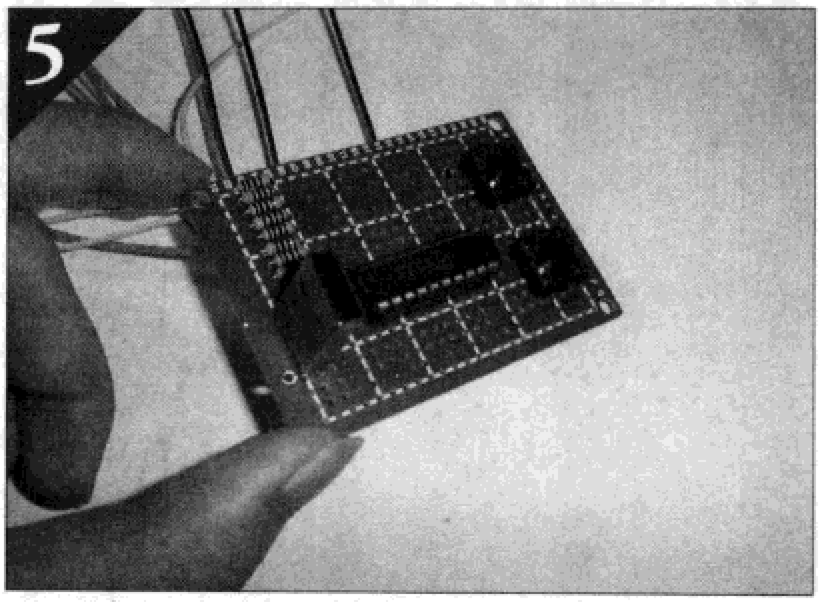
把LED的负极弯向一边，用焊锡把灯焊接在左中右部位，如附图所示。注意，不同颜色的LED要按照电路图的顺序排列好，铜丝不要跟正极接触。



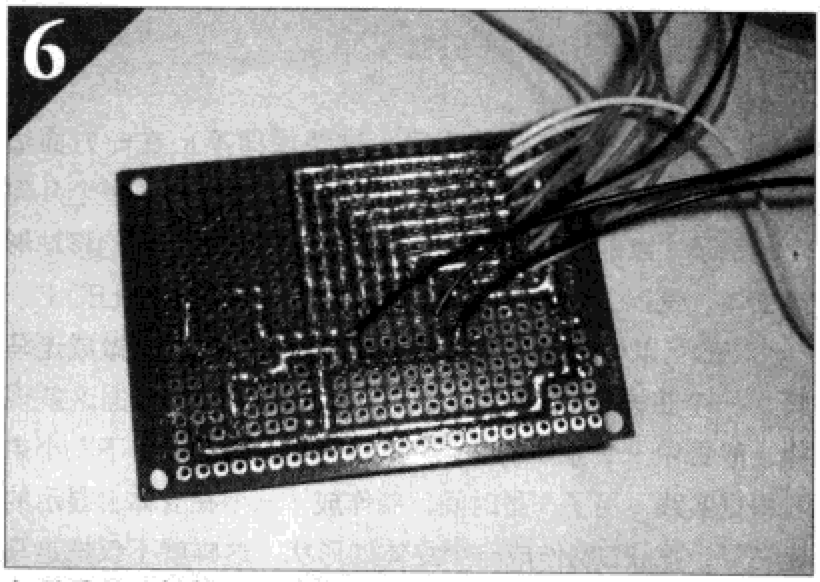
再用1根铜丝把排列好不同颜色的一层焊接固定好，为了坚固分布受力，还要用另外2个铜丝同样焊接在上面围成1个正方形，这样就可以把这层所有的负极连接在一起了。按照同样的方法焊接另外的3层。



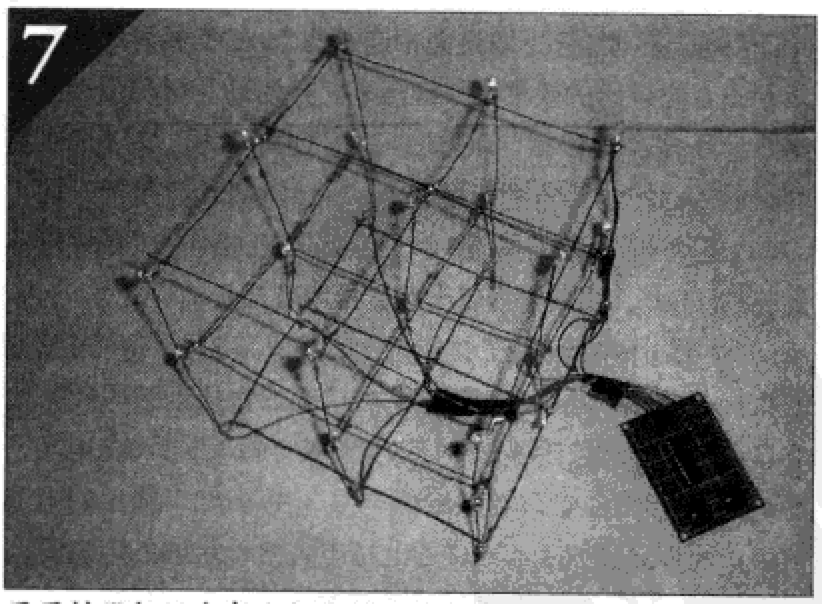
再用铜丝把3层LED各自控制的3个LED的正极焊接上，同时要注意正极跟负极不要碰触。这样如附图所示，立方体的部分就完成了。为了确保稳定，还要检查一下每个地方的连接是否到位，必要时还要加上更多的锡。



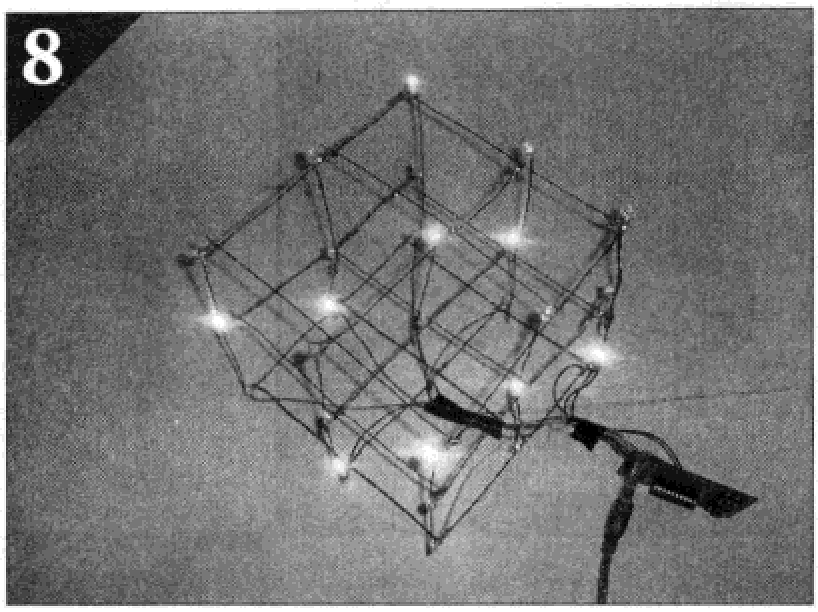
下面再来进行驱动部分的焊接，如图所示在相应的位置焊接上元器件，由于是使用STC单片机的内部振荡器，所以就不需要焊接外部晶振，大大简化了电路。我用的是USB插头供电，你可以根据自己的情况来选择不同的供电方式。



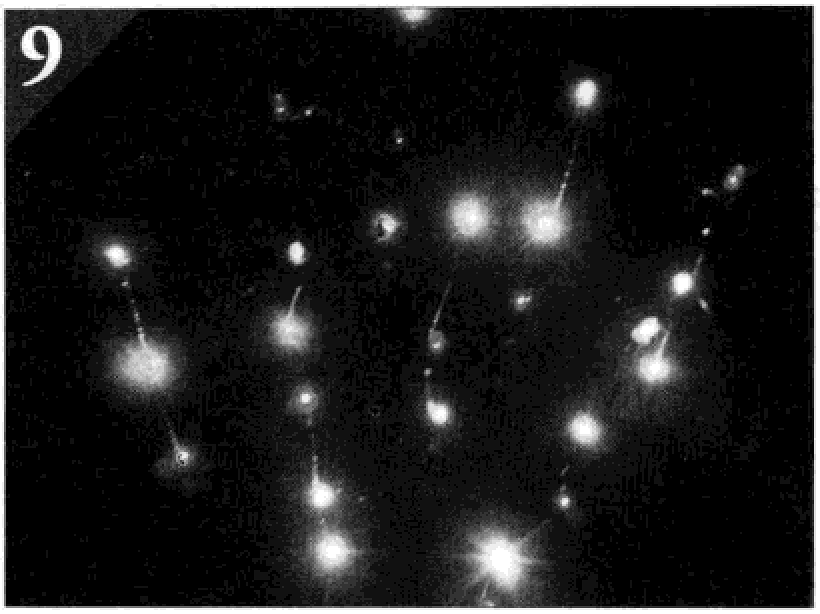
如附图所示焊接好驱动板背面。



再用排线把两个部分相应的地方焊接上，并用胶布把线包扎起来，插上下载好了程序的单片机，完成这一部分，全部的工作就完成了！心动了吗？！哈哈~~



插上电源，欣赏自己的流动花样吧！



夜晚的效果才是超酷的呢！

程序部分说明

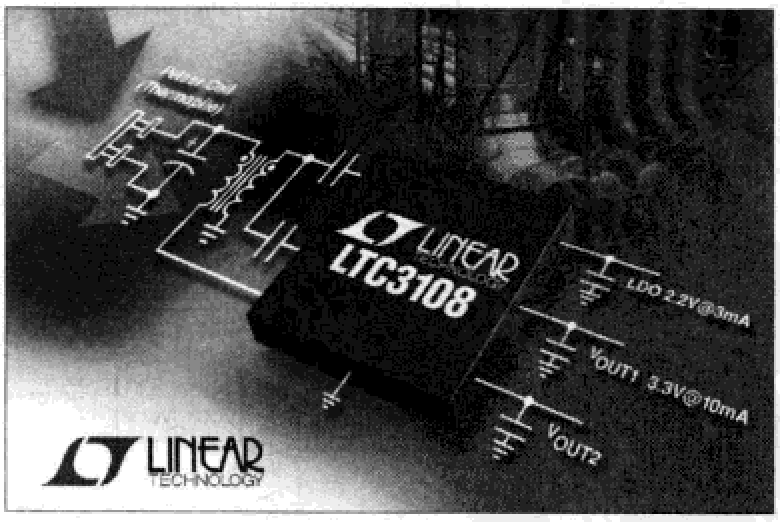
由于仅用很少的I/O口来驱动，所以要驱动不同层次的LED点亮时需要用扫描的方式解决，先把第1层的某一个LED点亮，再把第2、3层轮流点亮，这样就可以骗过眼睛，达到“同时亮”的效果了。如果需要把所有的LED全点亮，不能仅控制LED的9个I/O口输出高电平和控制每一层的负极输出低电平，这样仅仅能把红色的LED点亮，其他的都不亮。经过一翻的知识查询，其原因是发光二极管的“钳位”作用造成的，二极管的钳位作用是指利用二极管正向导通压降相对稳定,且数值较小（有时可近似为零）的特点，来限制电路中某点的电位。但是LED的正向导通压降要高一些，因为红色LED的驱动电压比其他颜色的驱动电压低，当I/O口输出高电压时，电压变化是有时间差的，这样，低电压的红色LED就会先点亮，这时电路并联的电压就稳定在红色LED的驱动电压上，这时候达不到绿蓝LED的驱动电压，所以绿蓝LED不亮，只有红色亮。因此如果需要全部LED点亮，还是要用扫描的方式，分别快速点亮每一层。我写的程序里也绞尽了脑汁，写了几个花样流动，先让每一层LED交替亮，再来单个以闪电般的速度快速流动整个立方体，接着分别亮红、绿、蓝这3种LED，再来一个全亮、单横亮、前后围成的正方形亮等。你可以在这个立体上显示出多种的流动方式，多多发挥你的创意吧！这样，不仅电影《阿凡达》有3D，我们电子爱好者也可以玩玩属于我们的三维，快把你的LED搬到3D上吧！

读者可以在《无线电》网站下载到这个作品的实际运行视频，相信直观的演示会让你喜欢上这个作品。

凌力尔特推出低电压升压转换器LTC3108

凌力尔特公司推出高度集成的升压型 DC/DC 转换器 LTC3108，非常适合于收集和管理来自诸如热电发生器、热电堆和小型太阳能电池等极低输入电压电源的剩余能量。该器件所采用的升压型拓扑结构可在输入电压低至 20mV 的情况下正常运作。LTC3108 采用一个小外形的升压型变换器，可提供一款面向无线检测和数据采集应用的的完整电源管理解决方案。3mm x 4mm DFN封装（或 SSOP-16封装） 结合非常小的外部组件，确保为能量收集应用提供一个高度紧凑的解决方案。

登录凌力尔特官方网站: http://www.linear.com.cn可申请免费样片



图形液晶模块应用入门 2

无字库12864液晶模块应用实例一

小小日历钟

◎卫小鲁

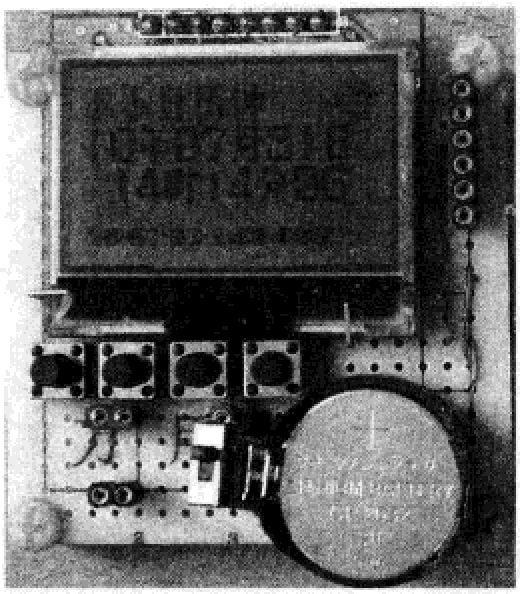


图1 做好的小小日历钟

上一期我们已经了解了使用TEA5767的无字库小液晶模块SO12864FPD-12CSBE的驱动方法，本期我们就用这些方法来制作一个小小日历钟，见图1。本文只是抛砖引玉，大家可以在此基础上进一步发挥，做出小巧又有个性的日历钟来。

本刊已经介绍过很多液晶日历钟的制作，这个钟有什么特点呢?

1. 电路简单，使用元件少，容易制作，核心就是单片机ATMega8L和日历钟电路1302。

2. 全部使用低压元件，3V电压就可以工作。

3. 使用自编的小字模和图形界面使得显示具有特色：在文字界面可以清晰地读出当前的日期和时间，而且加入一个小动画使显示更加生动，在图形界面使用模拟刻度和指针动态指示当前时间，两个界面用按键切换。

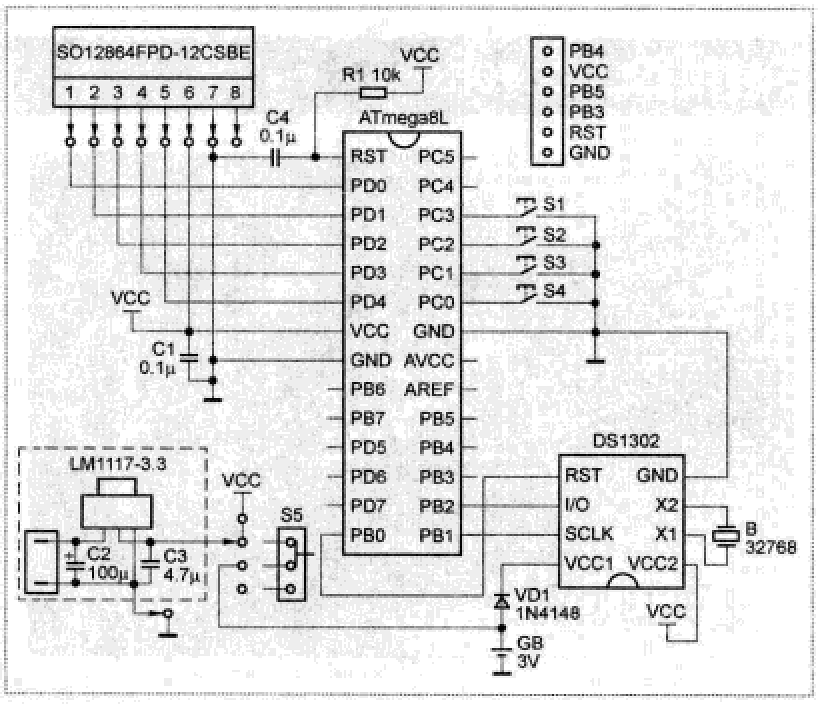


图2 电路原理

4. 电源制作在独立的小电路板上，调试程序时插入使用USB供电的3.3V稳压电源，完毕后可以取下，插上开关，使用电池供电。

5. 不用背光时耗电很小（全机约3mA），可以使用一个圆片锂电池CR2032供电。

日历钟安装在一块50mm×50mm小万用板上，外形见图1。

电路原理

电原理图见图2。液晶型号如前述，单片机就是AVR的ATMega8L-8PU（以下简称M8），可以在低电压下工作，M8的PD口控制液晶，主要就是控制串行写入显示数据。DS1302（以下简称1302）是常用的日历-时钟芯片，32768Hz晶体B是它的振荡源。在它内部有10个命令寄存器用来存储日期、时间的数值并控制芯片工作，M8通过PB0、PB1、PB2控制1302的RST、SCLK、I/O：RST为高时才能读写1302，读写都是让数据在I/O上串行传送，每当SCLK上升沿时写入1位地址或数据，写入地址后每当SCLK下降沿时则读出数据。读写都是从最低位开始，受SCLK时钟同步。接通电源后它必须通过单片机程序启动计时，此后只要有电源或者备用电源存在，它就能一直工作下去，和单片机是否工作无关。连接在M8的PC口的4个轻触按键，S1、S2、S3用于调校时间：分别为确认修改、移动光标、修改数值，S4用于界面切换。电源包括两部分：圆片锂电池CR2032通过二极管VD1连接到1302的VCC1作为后备电源，以便在关机时也能使1302继续工作，另一路可通过开关S5给液晶、M8、1302的VCC2供电，在调试时为了避免消耗电池，接入了另一个5V转3.3V的小稳压板，用微型USB接口从外部取得5V电源。调试好后，取下稳压板，在插孔上插上小拨动开关S5，就可以使用锂电池了。注意二极管VD1不可省略，因为按照1302

的说明书，VCC2高于VCC1时由VCC2供电，VCC2低于VCC1时由VCC1供电，在用电池时，由于有二极管，VCC2比VCC1高，电池正常供电，关断电池时，VCC2为0，电池通过二极管作为后备电源，符合要求，保证电路正常工作。

硬件制作

这个日历钟电路简单，所需元器件很少。集成电路使用双列直插插座，液晶焊上90°插针排，和焊在万用板上的90°排针插座插接。6线编程口、电源部分插座使用了圆孔2.54mm间距IC插座条。电池使用圆片锂电池CR2032。采用一块5cm见方的万用板安装全部元件。首先截取一段90°排针座，焊在电路板背面上方中央，作为液晶插座，M8的IC插座也要装在电路板背面，为此把它的引脚往外弯折，按照液晶插座引脚对应的位置定位IC插座，先焊上RC复位元件以及一些相关连线，然后把M8插座引脚直接焊在电路板焊盘上。1302插座依据M8插座定位，和32768Hz晶体一起也是焊在电路板反面。这种非常规安装虽然不尽合理，但有效利用了万用板的安装面积（否则液晶占用的一块不便利用），而且可使液晶和M8、M8和1302之间的连线变得非常简单，直接用焊锡连通即可。在电路板正面，还要安装轻触按键、电池窠、编程插孔排、电源块插孔。两面元器件布置见图3和图4。另用一小块万用板焊上微型USB插座、滤波电容、低压稳压器LM1117-3.3以及和时钟板电源插孔对应的IC插针。

焊接液晶的90°插针排时，可把它先插入已经焊在电路板上的排针座，再焊接液晶上的镀金焊盘，注意保持液晶和电路板的平行，所以插针不能在液晶上插到底。

因为LCD的背光对于区区200mAh容量的小锂电池来说，50mA的电流显得耗电太大，所以就没有安装背光电源接线，如果需要安装最好接到外部电源上而不要使用小电池。

编程

电路虽然简单，但是要让不带字库的LCD、1302在M8的统一领导下有条不紊地工作，所以具体编程必须解决以下问题。

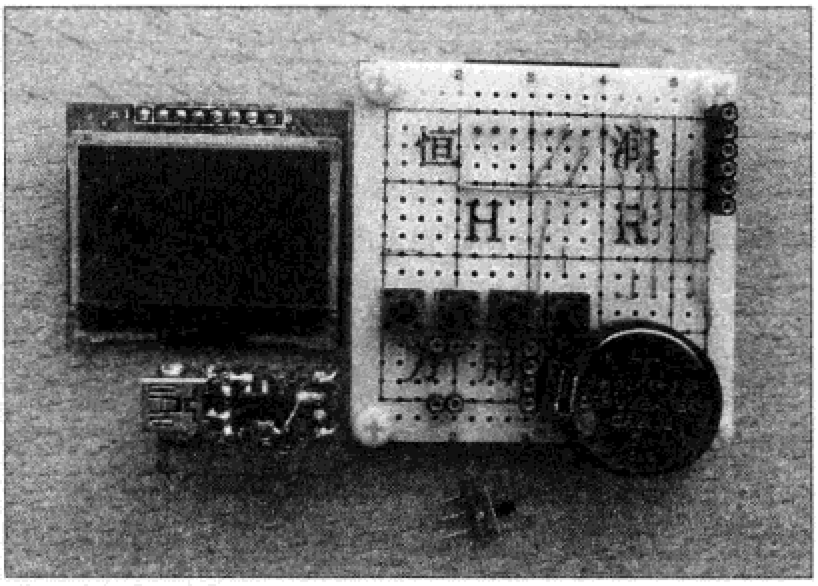


图3 万用板正面布局

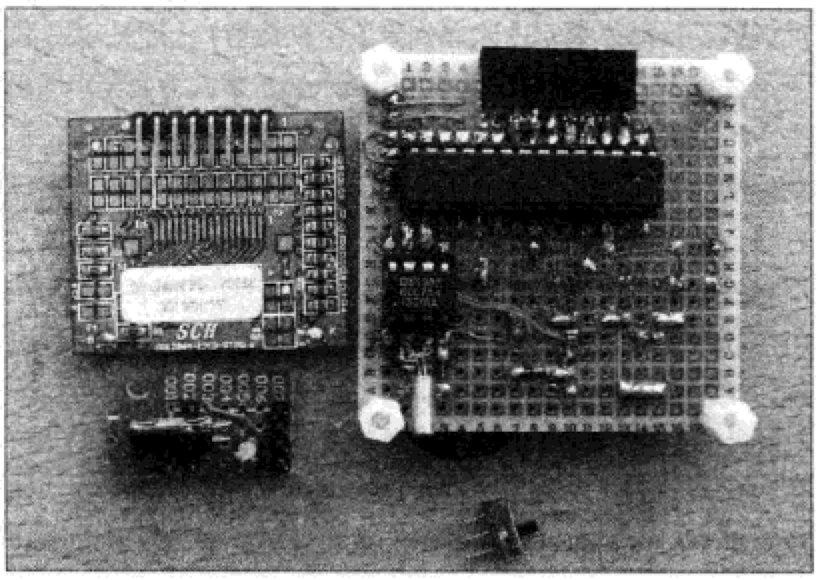


图4 万用板背面布局

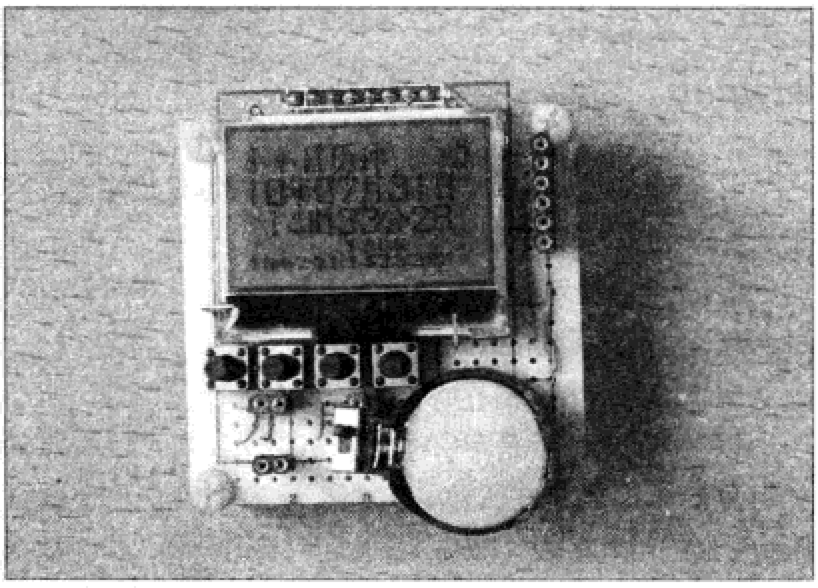


图5 调节日期和时间

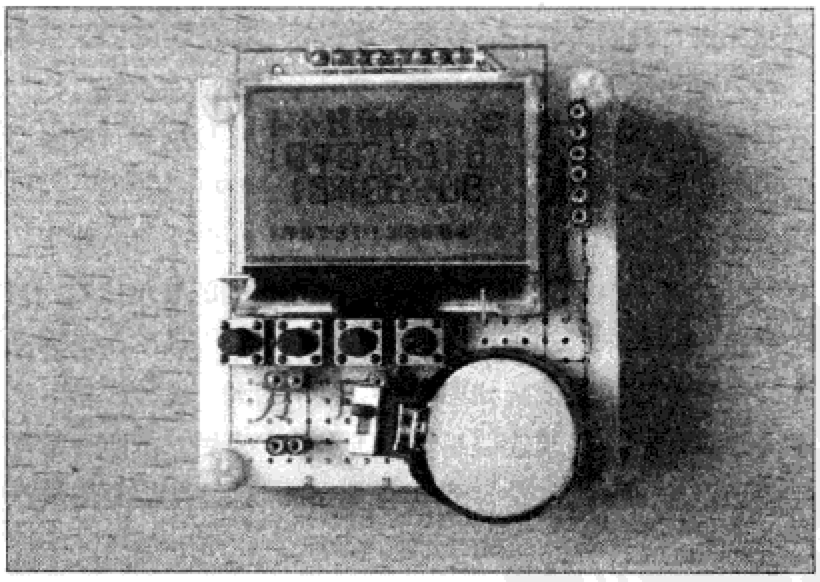


图6 调节完成

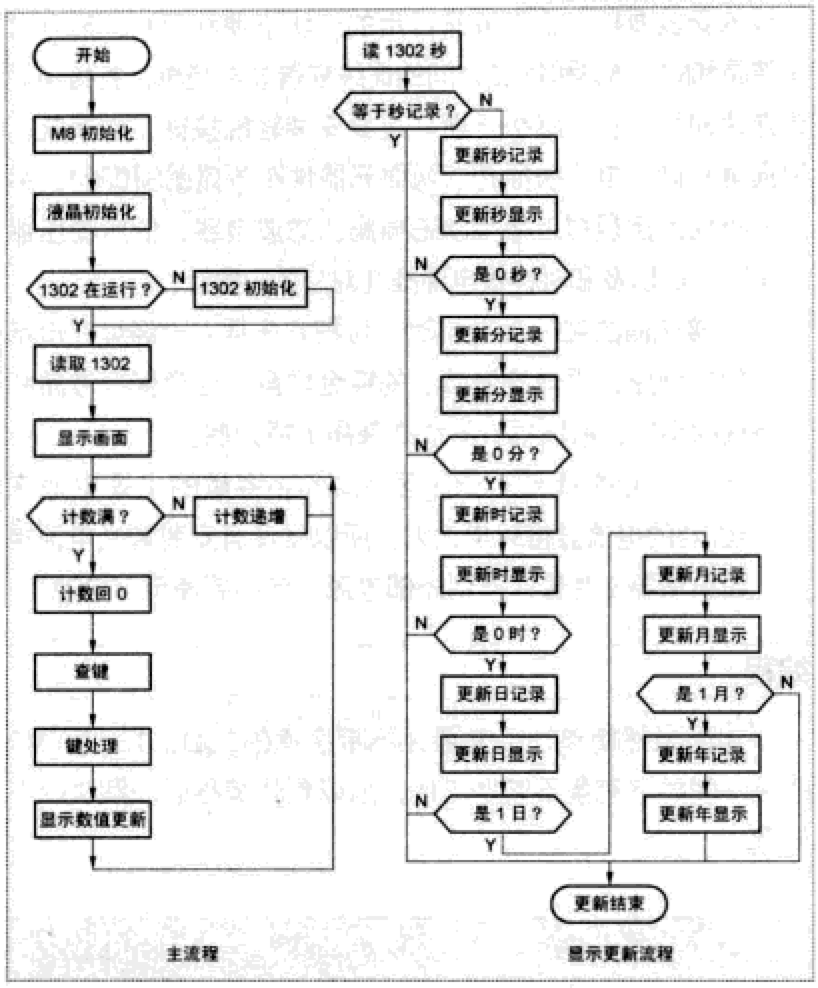


图7 程序流程

1. 让时钟走动起来，而且可以通过按键设定或修改当前数据。

2. 让液晶显示时钟芯片当前提供的信息：年月日时分秒，两个显示界面的按时刷新。

3. 制作字模和图形界面编程。

以上第1点，就是用M8控制1302。我们可以按照它的时序要求编列一些函数，另外在程序中建立一个数组DateTime[7]用来存放从1302读出的年月日时分秒，作为数据刷新依据，第2点，主要是在LED上显示这个数组当前的数据（要注意1302存放日期时间的格式是BCD码，所以存取之前必须先进行数制转换）。数据刷新实际上就是查询1302当前“秒”是否等于上次查询结果，如不等于则已经过去1秒，在数组记下新秒，刷新显示“秒”-当然是1秒刷新一次，而且当秒更新为0时要更新“分”……以此类推。第3点上次已有叙述使用，畔畔字模的方法，其中编制了8×8小数字、12×16数字、16×16汉字几种字模用于不同的显示位置，另外有个小鸡啄米的动画，可以在16点阵字模工具中用鼠标点击，分别画出小鸡低头和小鸡抬头两个图案，在秒刷新时交替显示即可。用字模软件制作好所需的字模后，把所有常量字模数组定义放在头文件miniClock.h中，这些数组全部放在FLASH区。

图形界面的模拟指示针、刻度的制作也不困难，只要事先规划出水平刻度长度：起点和终点坐标画出水平线，垂直刻度则按照刻度位置画出短垂直线，指示针则是在刻度上方或下方画垂直线。它的位置要计算好，根据时间数据刷新而改变。

标题“小小日历钟”是个汉字串，用一个汉字串显示函数void show_string1616（uchar x，uchar y，uchar *string，uchar string_lenth）；参数是显示起始列、页、字串指针、字串长度，同时要事先定义一个以上指针所指的字串数组，此数组的元素是待显示的字模在字模数组中的位置。

以上源文件具体代码可参见《无线电》网站的C源文件，欢迎大家根据自己的水平加以改进。使用的编程工具是AVRStudio4.13和WinAVR20070525，它们都是开源软件。

整个程序流程见图7，左边是主流程，右边是年日月时分秒更新流程。

主程序循环是设置一个用于软件计数的静态变量:const unsigned int delta=0;在主循环while（1）{}中当delta未达到设定值例如3800前它每次递增，达到设定值后再执行查键→键处理→如果秒数值改变就刷新日历钟的显示。

调试

硬件焊好后，反复检查无误，不插M8、1302和LCD，锂电池，插上稳压小板，接通USB电源，测试M8插座、1302插座、编程口和LCD的VCC电源应为正常3.3V，拆下稳压板断电，插上锂电池，1302插座8脚应为2.4V，插上开关S5并接通，所有VCC应为3V，至此电源没有问题了。拔掉S5，插上M8、液晶和1302，插上稳压板和USB电源，如果你从未使用过这种LCD，不妨自己先编制一些小的验证程序（例如启动、初始化M8和液晶后，用不同的参数运行清屏函数）观察液晶显示是否如同预期，如果没有反应就要再次检查程序中对M8引脚定义是否和你的实际硬件接线一致，这个小液晶和别的一些液晶不同，不需要硬件调整对比度，不会因对比度调节不当而不显示（除非你修改了默认值）。这一关先过了再往下走。往M8下载程序，如果一切正常，画面会立即出来。不过现在的日期、时间不对，按动S2，在最下面一行日期时间的分隔符上会呈现竖线光标，连续按S2，光标会循环右移，在光标停下的位置按动S1，在上面就会出现设定值，反复按动会循环递增，就这样逐一调节日期和时间，如图5所示。最后按下S3，新的时间就存入1302了，并能按秒刷新。现在插上电池，一切就好了。如图6所示，可见时、分已经改为新的设定值。可以去掉稳压板，虽然液晶熄灭，可是1302还在闷声不响地运行，如果你插上开关S5再接通，液晶又亮了。为了节省电池消耗，不要老是开着它。如同老式怀表，看表前再按开盖子。

编者按：很多电子钟走时精度不高，需要定期进行校时，为此本刊曾刊登了《数字钟的自动校时》（2008年第4期）、《能自动校时的电波钟表》（2008年第5期）、《电波钟及其系统设计》（2008年第8期）等文章介绍了这方面的解决方案，本文将介绍借助JJY低频授时信号进行校时的方法，喜欢DIY电子钟的朋友不要错过。

自制高灵敏度JJY授时信号接收系统

设计原理篇

◎郭黎利　杨鹏

信息时代的到来，使得标准时间的获取越发显得必要。低频时码授时技术的出现极大的方便了人们使用标准时间。它通过接收授时中心以无线电长波传送的标准时间信号，经过处理后自动校准时钟走时，使它与国家标准时间自动保持同步。由于授时中心的发射功率是一定的，只有尽量提高接收系统的接收灵敏度，才能使接收范围最大化，因此高灵敏度的接收系统对授时技术的广泛应用与推广具有重要而深远的意义。

本文将介绍接收日本低频时码授时信号JJY的高灵敏度接收系统的设计方法。设计以MCS-51单片机为处理核心，以LA1650专用IC为主要接收芯片，通过软件算法处理，实现授时信号远距离的接收，时间精度达到秒同步。该系统具有实现简单、成本低、灵敏度高、精度高和稳定可靠等优点。

低频时码授时的基本原理与编码技术

1. 授时系统的基本原理

在授时中心，由原子钟产生精确的标准时间，然后对时间信息进行编码，编码后的时间信号通过调制器调制到低频载波上（JJY/40kHz，ASK），以无线电长波发射出去，见图1。

接收系统则通过磁棒天线接收低频时码信号，由集成芯片进行时码信号的解调，再将此信号送入处理器进行解码等处理，得到标准时间信息，消除计时器的时间积累误差，使接收系统的时间与标准时间保持高度同步，见图2。

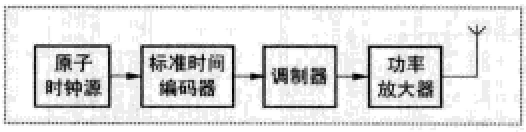


图1 发射台原理图

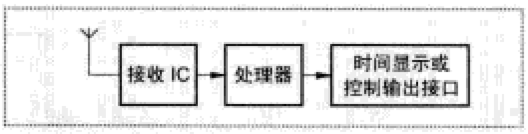


图2 接收系统原理图

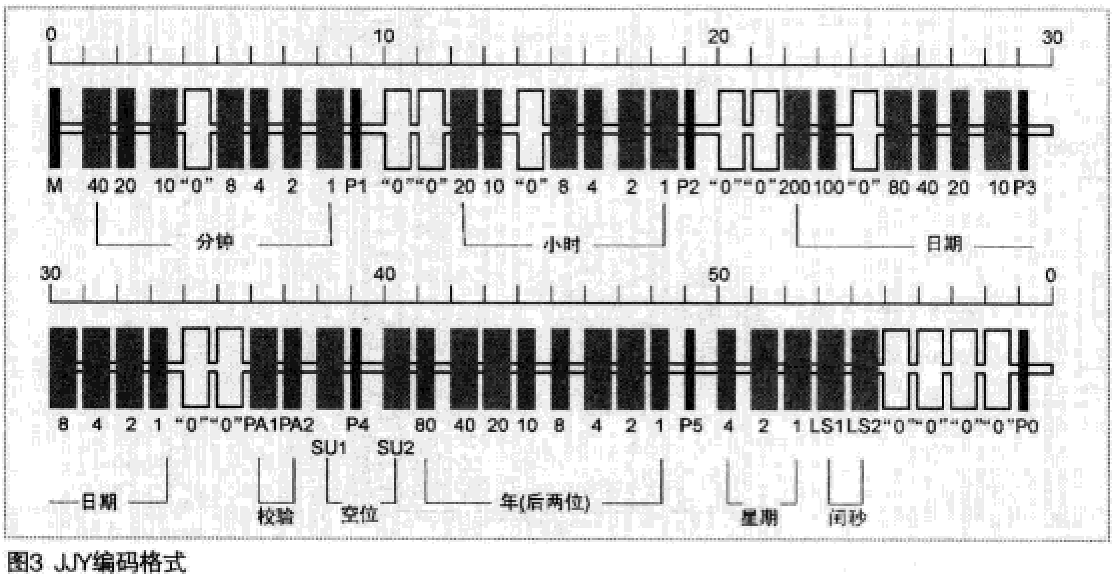


图3 JJY编码格式

2. JJY编码技术

JJY编码信号用一帧载荷当前的时间信息，这些信息以BCD码形式表示。每帧的时间长度为1分钟，分为60个码元，每个码元时间长度为1秒。码元为脉冲信号，每秒的开始对应于一位脉冲信号的上升沿，这样可以与标准时间精确同步。不同的脉冲宽度表示不同的码元，高电平宽度为200ms±5ms表示定位码P码，800ms±5ms表示逻辑0，500ms±5ms表示逻辑1。时间信息为各位数值乘以位权值的求和。编码格式如图3所示。

接收系统的方案设计

1. 设计思想

为了获得高灵敏度的接收系统，需要从系统设计的各个环节上优化接收性能。根据对接收系统的分析，可以从以下几个方面提高接收灵敏度：选用制作合适的天线，以获得最佳的信号接收效果；采用授时信号专用高灵敏度接收解调芯片，使得电路尽可能简单稳定；选用适合的处理器作为信息处理的核心，通过软件程序的算法进一步提高接收性能。由此确定设计思想为：用磁棒天线接收JJY40授时信号，然后通过JJY接收集成芯片进行

解调，最后将解调后的编码信号送入处理器分析处理，实现标准时间的显示和一些扩展功能。

2. 设计方案

根据设计思想，天线选用制作适合频率40kHz的磁棒天线，接收解调集成芯片采用JJY40专用芯片LA1650，其接收灵敏度可达10dBμV，而我国大部分地区（如哈尔滨）的信号强度为μV级，它可以满足指标要求并且电路简单稳定，容易实现。处理器采用STC89C52单片机，其运算处理能力可以满足对JJY编码信号的解码和其它一些基本处理控制功能，再加上液晶和按键，便可显示标准时间以及进行一些控制设置。同时预留一些控制输出接口，便于增加扩展功能。方案原理框图如图4所示。

关键部分的设计与实现

1. 天线

接收天线是接收系统的最前端，直接影响着接收机的接收灵敏度和后端的解调处理，它的制作至关重要。对于40kHz的低频信号，接收天线应采用磁棒天线，和电容组成并联谐振回路作为输入回路。根据工程经验，其电感量应为mH级，磁芯选用高导磁率的锰锌铁氧体，线圈采用直径0.25mm的漆包线。经绕制、测量得电感量约为4.8mH，Q值约为50。

根据谐振频率公式：

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

式中，f_0为40kHz，得出谐振电容为C约为3570pF，考虑到电感的分布电容，取为2200pF。通过微调磁芯的位置，使谐振频率为40kHz。

2. 接收解调电路

以LA1650为核心的接收解调电路如图5所示。其原理是：先由AMP1对接收到的信号进行放大。然后经40kHz的晶体带通滤波器滤波，由AMP2进行二次放大，从AMP1的输入到AMP2的输出的总开环增益可达90 dB。AMP2的输出经过1000pF电容输人到整流电路，电容和输入阻抗构成高通滤波器，可以滤除低频噪声。整流电路对信号进行全波整流，并输出两路信号。一路作为AGC信号在片内对AMP1进行反馈控制。另一路输人到检波电路，检波后的波形经过整形后输出。输出的编码信号与输人信号反相，在送入单片机前需经过反相器进行反相处理。

3. 基带处理电路

基带信号处理以STC89C52单片机作为处理核心，需要实现以下功能：基本的电子时钟功能，在没有接收到JJY授时信号时可正确走时，接收解码JJY授时信号的功能，显示时间信息的功能，按键设置功能和一些扩展控制功能。根据其功能，外围电路设计为LCD1602液晶显示部分和按键设置部分，并且预留出一些控制端口。电路如图6所示。

4. 主程序

根据JJY接收系统的基本电子时钟功能、接收解码功能、显示功能和按键设置功能这4项基本功能，来确定程序设计的基本思想。主程序的设计思想为在基本的可设置、显示时间的基础上，融合加入JJY解码程序，并将

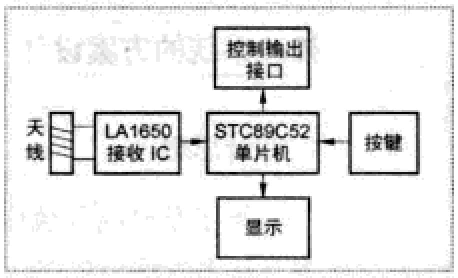


图4 方案原理框图

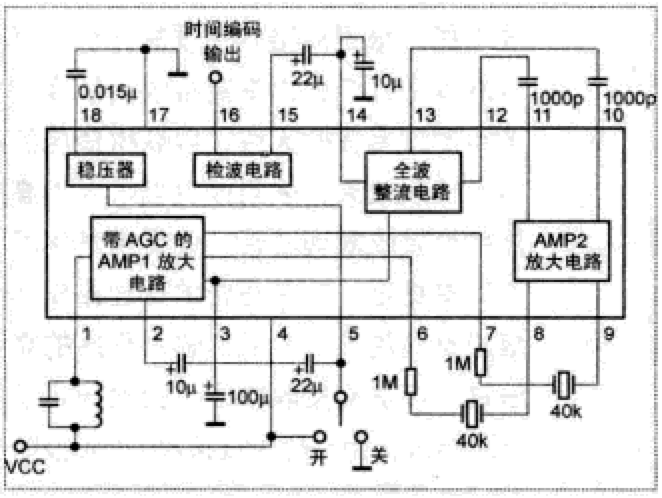


图5 接收解调电路

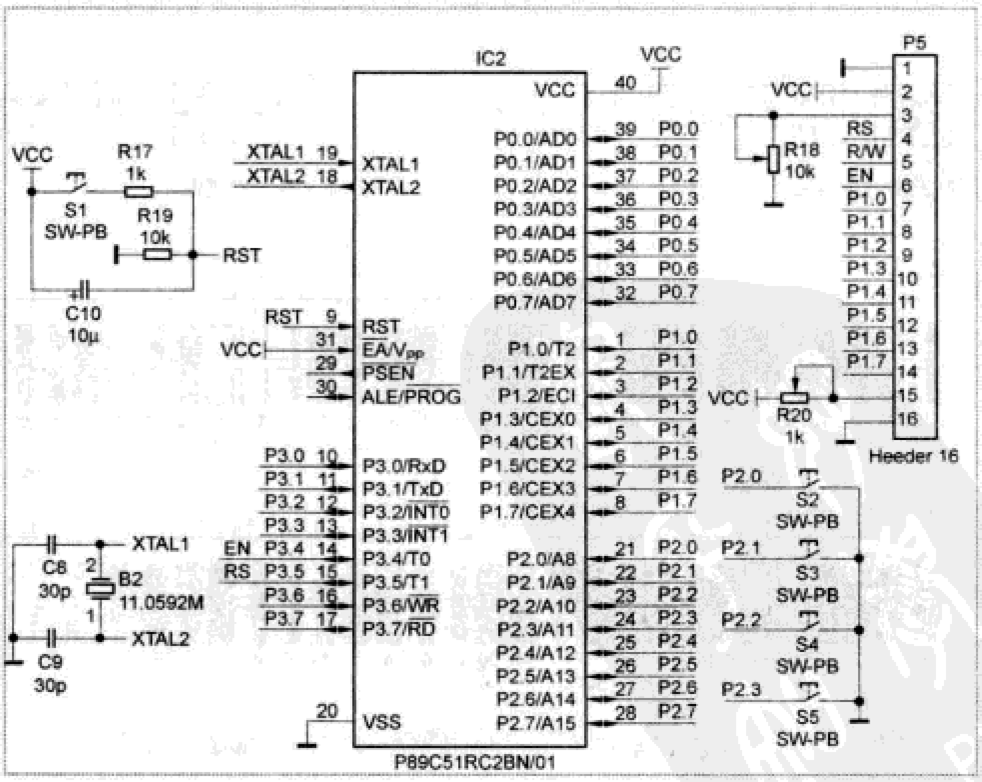


图6 基带处理电路

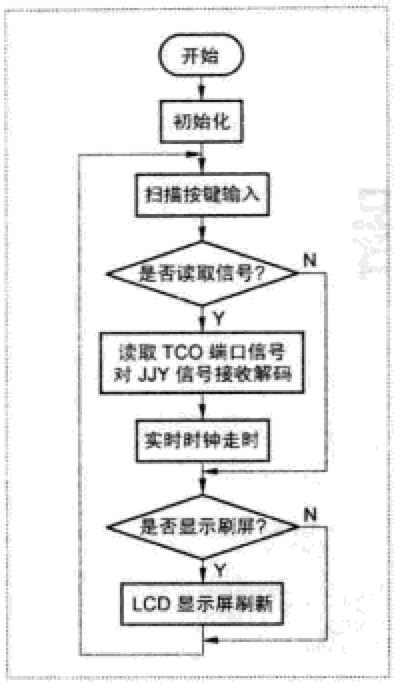


图7 主程序流程图

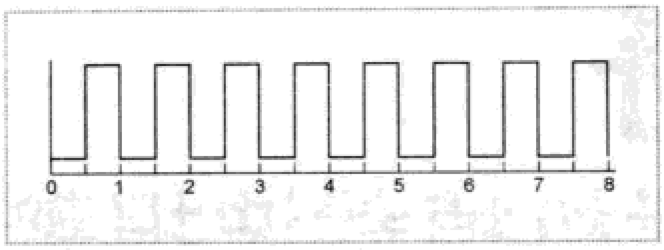


图8 未受干扰的信号

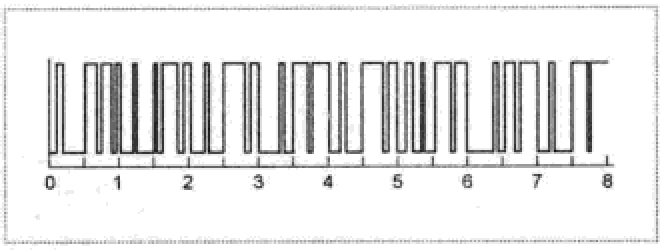


图9 受到干扰的信号

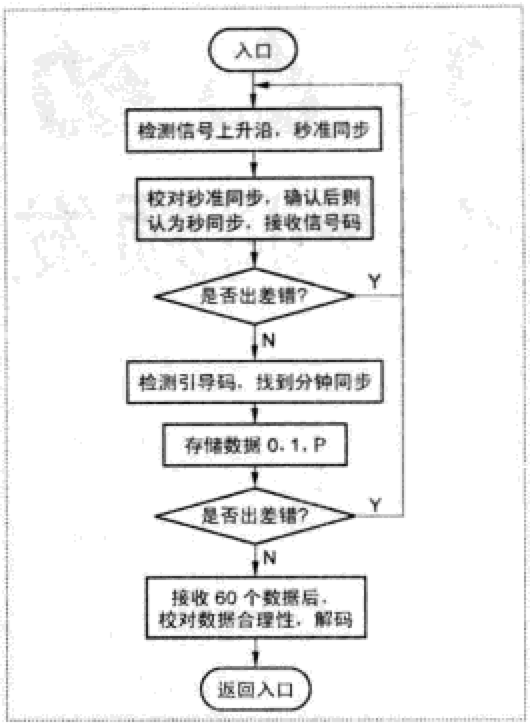


图10 JJY接收程序流程图

解码后的实时时间信息更新到电子钟表，然后继续走时显示。利用单片机的定时器可实现精确的电子时钟。因此可将程序分为显示子程序、按键设置子程序、实时时钟子程序和接收解码子程序。主程序流程图如图7所示。

5. 接收解码子程序

这部分子程序是整个程序的关键和核心，它是接收系统的授时技术思想的体现，它的设计水平直接关系到接收准确度和时间同步精度。由于前面已从硬件方面最大限度地提高了接收灵敏度，所以若要进一步提高接收系统的性能，则需在软件上进行技术完善。

由此确定JJY接收解码程序的设计重点是：对受干扰信号的正确判决接收，通过一定算法实现，保证与授时中心的标准时间同步，即较好的实现秒同步和分钟同步（位同步和帧同步）。

（1）同步思想

对于本接收系统，只需通过软件程序实现位同步和帧同步。基本思想是：首先利用每一位零时刻的上升沿来找到秒同步，再找到连续的两个P码，确定分钟同步，最后便可存储一帧的时间信息数据，实现与标准时间的同步。若在此过程中出现差错，则返回重新开始。

（2）算法思想

对于接收后的基带信号，由于频带信号在传播过程中受到信道影响，解调后的基带信号会变为受干扰波形（如图8、图9所示），若不进行处理，则无法正确辨识和储存。因此需采用一定算法，通过软件滤波处理，再进行码元判别，这样可极大降低误码率。

算法实现采用“采样法”，其基本思想是：在秒同步后，从找到上升沿便每隔10ms对信号读取采样一次，一共采样100次，即对一个码元采样100次，然后统计高低电平数即可判别出1、0、P。通过设置计数门限，便可使抗干扰效果达到最佳。JJY接收程序流程图如图10所示。

下一期将详细介绍实际的制作与测试，实物见图11。

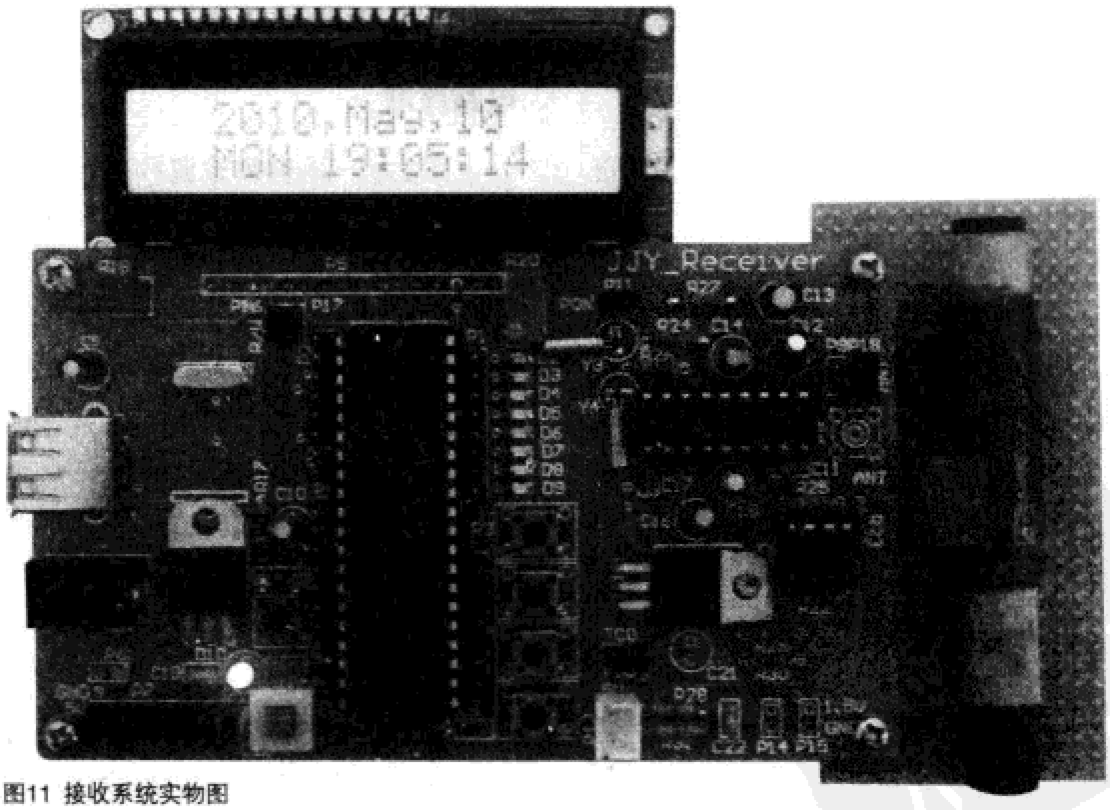


图11 接收系统实物图

自己动手

改进调频发射机掉载波报警器

◎彭琦

湖南人民广播电台立体声台调频发射机房现在共播出7套调频立体声节目，共有发射机9台。原有的掉载波报警器使用数字逻辑芯片作为主控单元，且只有6路报警通道，已不能适应其当前的发展。而且数字逻辑芯片故障率较高，经常需要维修而又没有备份的报警器，一旦出现故障后在维修期间，值班人员需要监视7台正在播出的发射机，无疑照看不过来。基于此，我们对原有的掉功率报警器进行了改良设计。改良后要增加发射机监控路数，同时要增加整个系统的可靠性。

整体设计思路

原来的掉载波报警器使用数字逻辑芯片控制声光报警，由于数字芯片的不稳定性，经常造成误报和漏报。在改造方案中，我们使用稳定度较高的单片机作为主控芯片。考虑到以后要增加发射机，我们采用了凌阳16位的SPCE061A作为系统的控制芯片。SPCE061A的CPU内核采用凌阳最新推出的μ'nSP™（Microcontroller and Signal Processor）16位微处理器芯片，同时内嵌32K字节的闪存（FLASH），且可以实现在线实时编程功能。由于该单片机具有两个16位的输入、输出口，可以有效地满足我们扩展发射机监控路数的要求。其总体设计方案见图1。

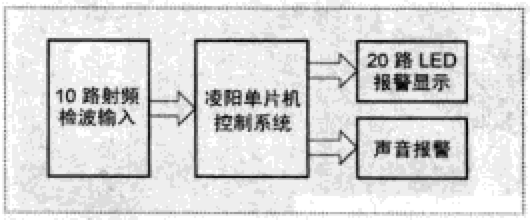


图1 总体方案

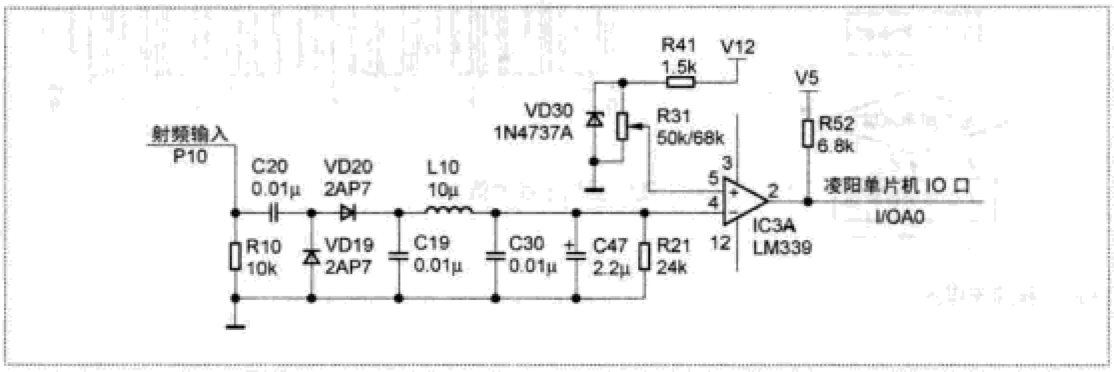


图2 射频检波和电压比较电路

从调频发射机定向耦合器中取出的射频信号送入射频检波器，经过射频检波器检波后变成直流电压，送入电压比较器与基准电压进行比较：当基准电压小于此直流电压时，电压比较器输出为低电平，当基准电压高于此直流电压时，电压比较器输出为高电平。电压比较器的输出直接接入到SPCE061A单片机，单片机通过检测高、低电平判断发射机是否掉功率，从而输出报警信号。

电路原理

图2为一路射频检波和电压比较电路。经过发射机定向耦合器输出的射频信号连接到图中P10连接口。C20为耦合电容。VD19和VD20为检波二极管。C19和C30为滤波电容。R31为精密可调电阻，通过可调端出来的电压作为LM339电压比较器的基准比较电压。通过调节R31可以设置不同的门限比较电压，从而设置不同的报警门限功率。

电压比较器我们采用LM339。LM339类似于增益不可调的运算放大器。每个比较器有一个同相输入端，用“+”表示，另一个称为反相输入端，用“-”表示。用来比较两个电压时，任意一个输入端加一个固定电压做参考电压，另一端加一个待比较的信号电压。当“+”端电压高于“-”端时，输出管截止，相当于输出端开路。当“-”端电压高于“+”端时，输出管饱和，相当于输出端接低电位。两个输入端电压差别大于10mV就能确保输出能从一种状态可靠地转换到另一种状态。因此，LM339比较适合在弱信号检测的场合。此处LM339使用单电源供电，1/4LM339的同相输入端加一个固定的参考电压，它的值取决于R31和R41。反相端的电压就等于射频检波出的直流电压。当发射机功率下降到设定值以下时，“+”端电压大于“-”端电压，输出端为高电位。当发射机功率恢复到设定值以上时，“-”端电压大于“+”端，比较器反转，输出端为低电压。LM339输出端直接接入单片机的输入、输出口。单片机对信号做出判断后进行报警。

通过实际测量，我们得出各发射机在不同功率时检波器输出的电压如附表所示。

附表

频率（MHz）	102.8	90.1	97.5	106.9	89.3	91.8	93.8
功率（kW）	7	7	7	6	6	8	8.6
检波器输出电压（V）	7.5	6.6	6.8	5.8	5.5	6.2	5.7
设置门限功率（kW）	5	5	5	5	5	5	5
比较器门限电压（V）	6.3	5.5	5.7	5.6	5.0	4.8	4.9

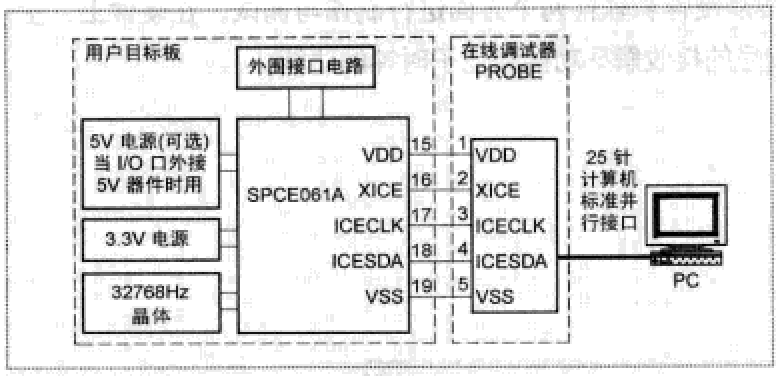


图5 连接示意图

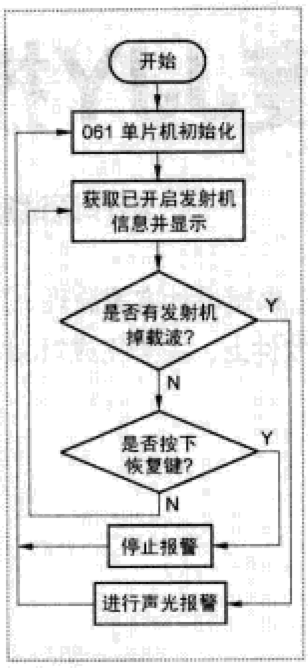


图3 流程图

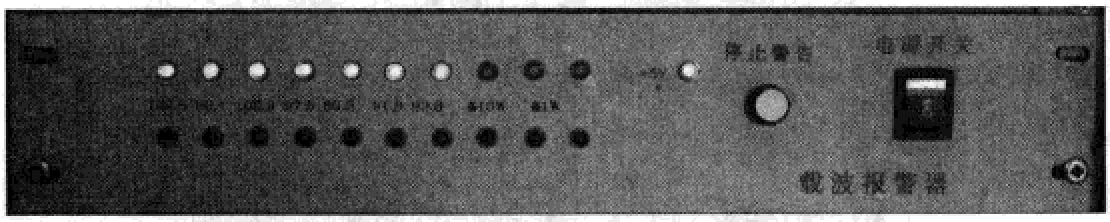


图7 运行效果

单片机控制程序

图 3 为程序流程图。由于凌阳单片机内部有看门狗电路，如果没有定时给看门狗送清除信号，单片机将重新启动，从而保证了整个系统工作在稳定状态。经过一年多的使用，本系统软、硬件工作正常稳定，保证了安全播出。

设计制作与调试

本系统的设计制作分为硬件和软件两部分。硬件部分主要包括电路原理的设计、电路板的制版和焊接以及调试。由于SPCE061A具有在线调试功能，因此软件部分能实现在线的调试和测试。

首先我们使用Protel对总体电路原理图进行设计，并制作好PCB，且将元件按从低到高的顺序焊接到电路板上。焊接后的电路板如图4所示。

焊接好电路板后，要对每路射频检波电路的输出口进行检测，测试输出电压是否正常，然后调节基准电压，检查LM339是否工作正常。测试完检波比较电路后，我们使用凌阳单片机的在线编程调试器连接到计算机进行软件调试。SPCE061A的开发是通过在线调试器PROBE实现的。它既是一个编程器（即程序烧写器），又是一个实时在线调试器。用它可以替代在单片机应用项目开发过程中常用的软件工具——硬件在线实时仿真器和程序烧写器。它利用了SPCE061A内置的在线仿真电路ICE（In- Circuit Emulator）接口和凌阳公司的在线串行编程技术。PROBE工作于凌阳IDE集成开发环境软件包下，其5芯的仿真头直接连接到目标电路板上SPCE061A的相应引脚，直接在目标电路板的CPU——SPCE061A上调试、运行用户编制的程序。PROBE的另一头是标准25针打印机接口，直接连接到计算机打印口与上位机通信，在计算机IDE集成开发环境软件包下，完成在线调试功能。图5为计算机、PROBE、用户目标板三者之间的连接示意图。其软件调试界面见图6。制作完成后，运行效果图如图7所示。

此系统投入运行经过一年多的实践检验，从未出现过漏报、误报等现象，大大减轻了发射机房值班人员的工作强度，为值班人员提供了报警信息，为倒换备机和排除设备故障争取了时间。

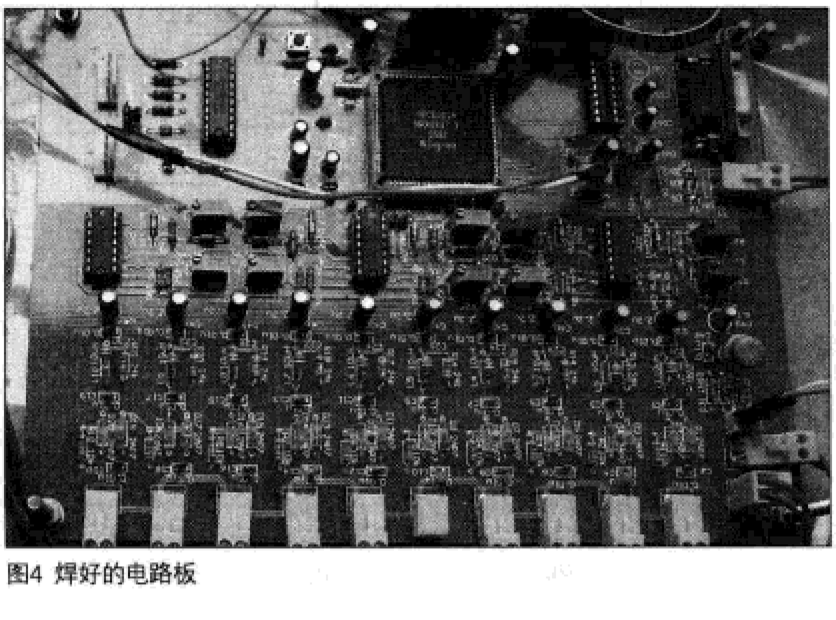


图4 焊好的电路板

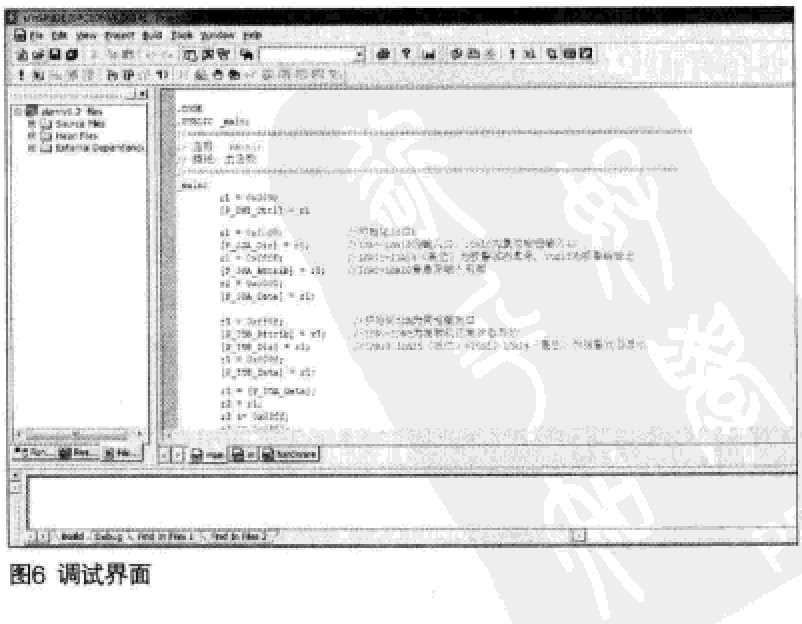


图6 调试界面

自制高灵敏度JJY授时信号接收系统

制作调试篇

◎郭黎利　杨鹏

为了实现高灵敏度JJY信号接收系统，根据设计方案原理，需要从硬件和软件两个方面进行制作与调试。在硬件上，主要分为频带处理部分和基带处理部分。在软件上，主要完成对JJY信号的接收解码功能和电子时钟的功能。

硬件电路

1. 接收天线

为了接收 40kHz 的低频授时信号，接收天线要采用磁棒天线，其和电容组成并联谐振回路作为输入回路。在铁氧体磁棒上绕上漆包线圈便可制成磁棒天线，根据经验值，其电感量应为 mH 级。磁棒选用导磁率 2kH/m 的锰锌铁氧体，尺寸为直径 10mm，长度 80mm 的圆柱形磁棒，线圈采用直径 0.25mm 的单股漆包线，绕制成电感量约为 4.8mH 的磁棒天线（如图 1 所示），通过调整磁芯在线圈中的位置，可以微调电感量，从而使谐振频率为 40kHz。

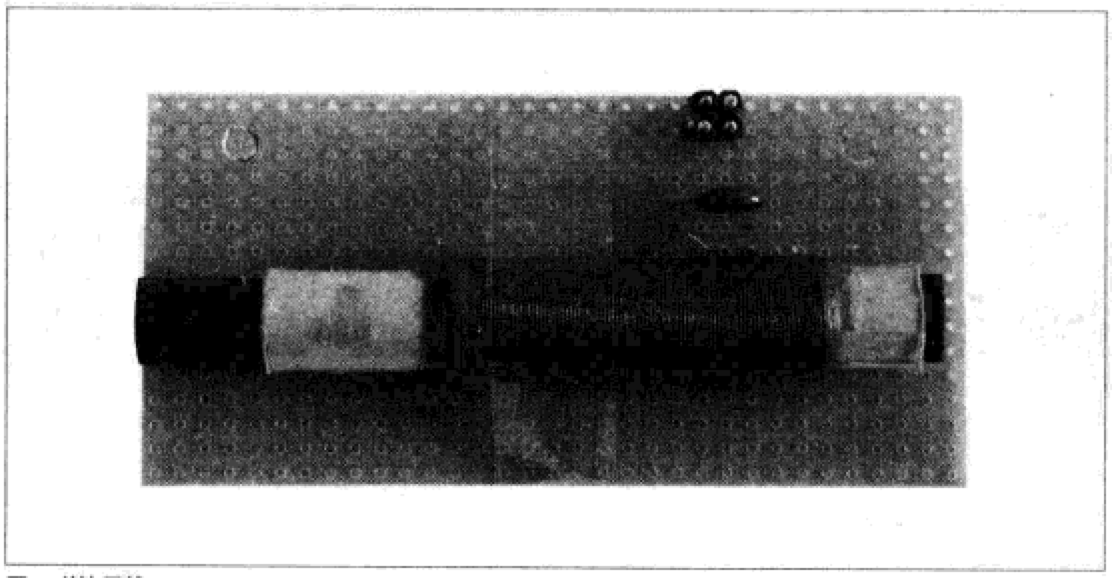


图1 磁棒天线

2. 接收解调电路

利用接收芯片LA1650实现对JJY40授时信号的接收解调，SANYO公司的这款芯片是专为接收JJY40授时信号而设计的，其接收灵敏度达10dBμV。电路如图2所示。LA1650推荐的工作电压为1.5V，有一片选使能控制端PON，和JJY基带反相信号输出端TCO′。由于MCU的电平为5V，所以端口连接需进行电平转换，利用51单片机P0口的OC门特性，外接上拉电阻和1.5V电平即可进行PON端的电平转换，对解调后的信号输出端TCO′，采用比较器LM311可进行电平转换并且将信号反相，输入端1.5V为高电平，设置

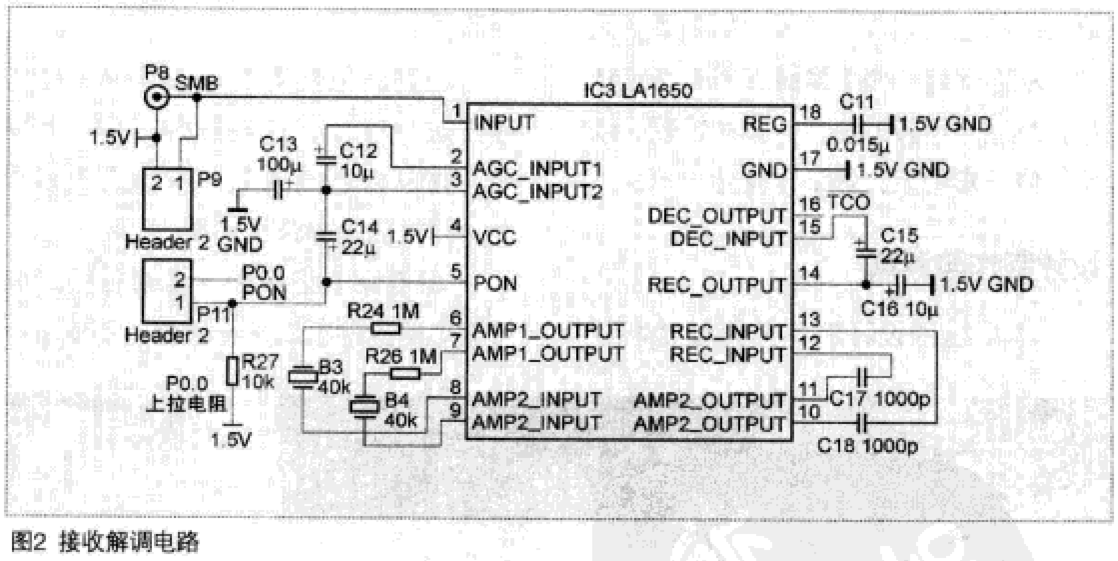


图2 接收解调电路

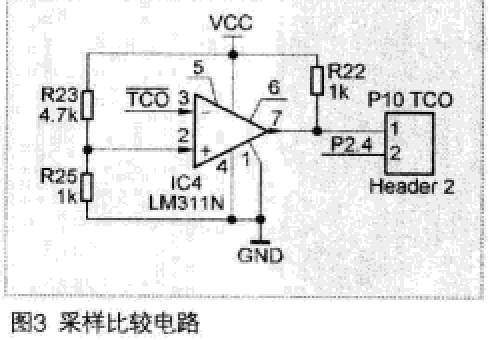


图3 采样比较电路

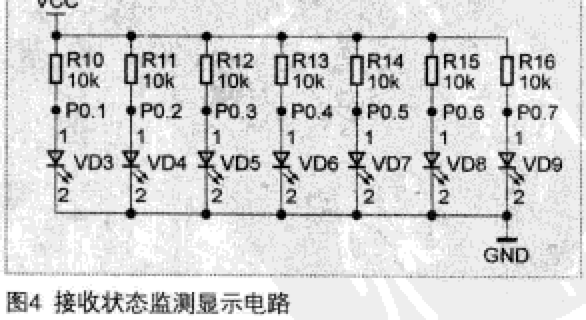


图4 接收状态监测显示电路

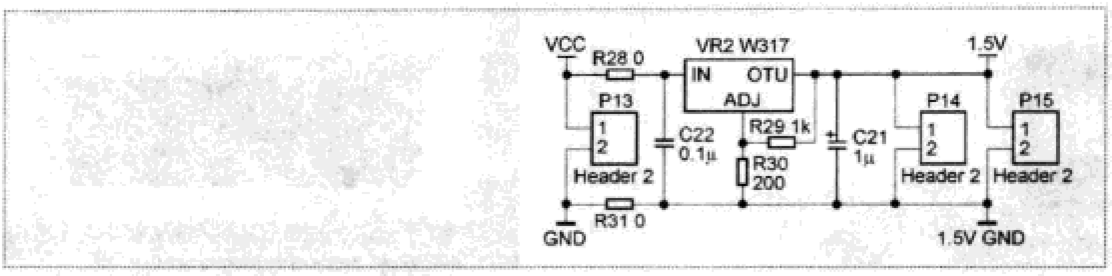


图5 电源电路

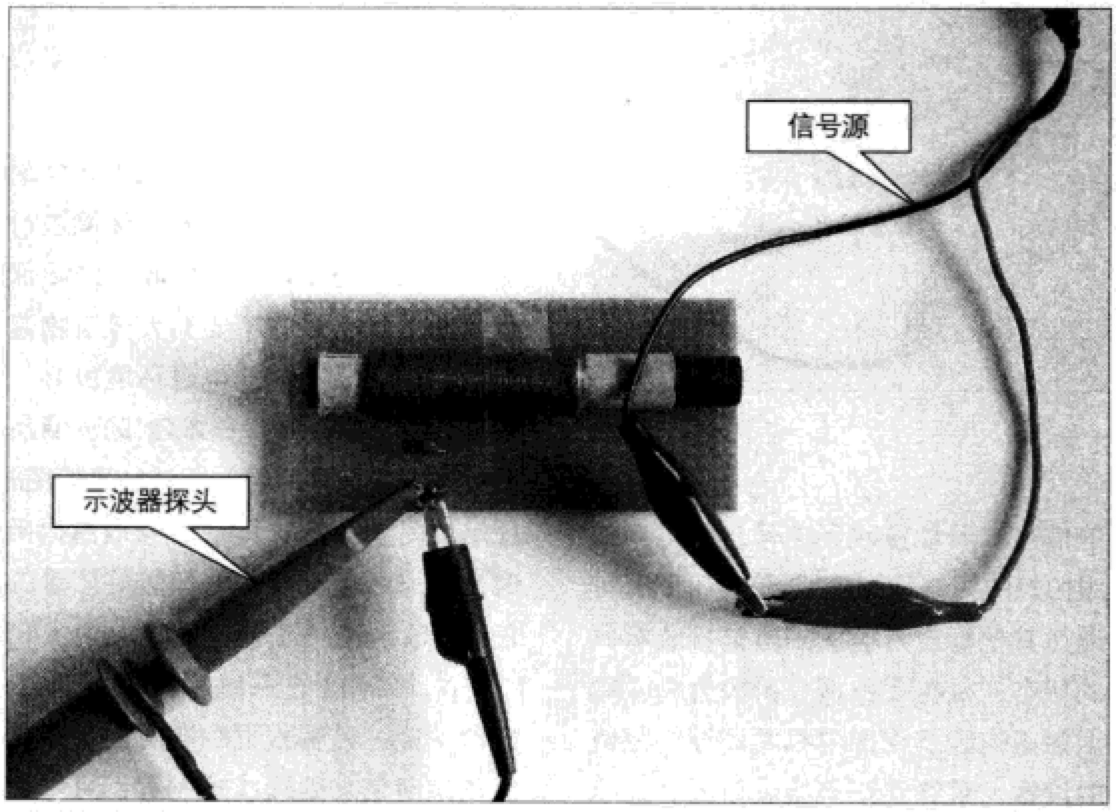


图6 调试接收天线

比较门限约为0.8V即可，故选取对5V的分压电阻为4.7kΩ和1kΩ，电路如图3所示。

3 .基带处理电路

根据设计原理，以STC89C52单片机作为基带信号处理核心来实现基本功能。其中，液晶显示采用LCD1602，键盘采用4按键独立键盘，进行功能设置，其功能分别为：强制接收开关按键，时间菜单选择按键，单位增加按键，单位减少按键。

为便于对信号的接收状态进行监测，采用 LED 灯来显示，如图 4 所示，电阻为 P0 口的外部上拉电阻。各灯功能如下：秒准同步监测，秒准同步后亮起，秒同步监测，秒同步后亮起，分钟同步监测，分钟同步后亮起，接收误码监测，出现误码后亮起，奇偶校验监测，奇偶校验判断出错后亮起，最后转换监测，最后信息转换时发现数据错误后亮起，JJY 接收解调后的基带信号指示，实时显示信号，高电平亮低电平灭。

4. 电源电路

电源需要输出5V和1.5V分别对单片机和接收芯片供电，采用稳压片7805和LM317产生5V和1.5V，如图5所示。其中1.5V的产生根据

$$V_0=\left(1+\frac{R_{30}}{R_{29}}\right)\times 1.25\ (V)+(R_{30}\times 50(\mu A))$$

得出，经计算，选取R29为1kΩ，R30为200Ω。

软件程序

根据程序流程图及JJY信号接收解码思想，便可完成C语言程序。8051单片机的C语言源代码可到《无线电》杂志网站上下载。

调试测试

根据电路图，制成PCB电路板，然后焊接元器件，并编写程序，便可进行调试测试。

1. 接收天线

对接收天线的调试主要是对接收谐振回路中心频率的调整，通过调整磁芯在线圈中的位置，利用信号源和示波器测试，使中心频率为40kHz。测试方法如图6所示，改变信号源的频率，用示波器观测信号幅度，当其最大时信号源输出频率便是回路中心频率，通过此法便可使磁芯处于谐振40kHz时的位置，达到良好的接收选频效果。

2. 接收解调电路

将输入的接收天线回路换为51Ω电阻，等效为无信号输入时的状态，即静态工作状态。给芯片供电1.5V，测各管脚电位，参考芯片资料，实测值与参考值误差很小，说明静态工作正常。然后将输入换回接收天线回路，并将芯片使能端置高，用信号源产生载频40kHz正弦波、调制信号为1Hz方波的2ASK信号（幅度mV级），通过耦合方式将已调信号加入芯片（如图7所示），用示波器观察芯片输出端波形，若为1Hz的方波，则说明可接收解调信号。

3. 实际接收测试

由于当接收地距日本JJY40发射台较远时，授时信号十分微弱，特别在天气不好时，空气中的各种干扰较多较大，对本来微弱的信号影响极为严重，而且接收环境周围的高大建筑物都有可能影响长波授时信号的接收，

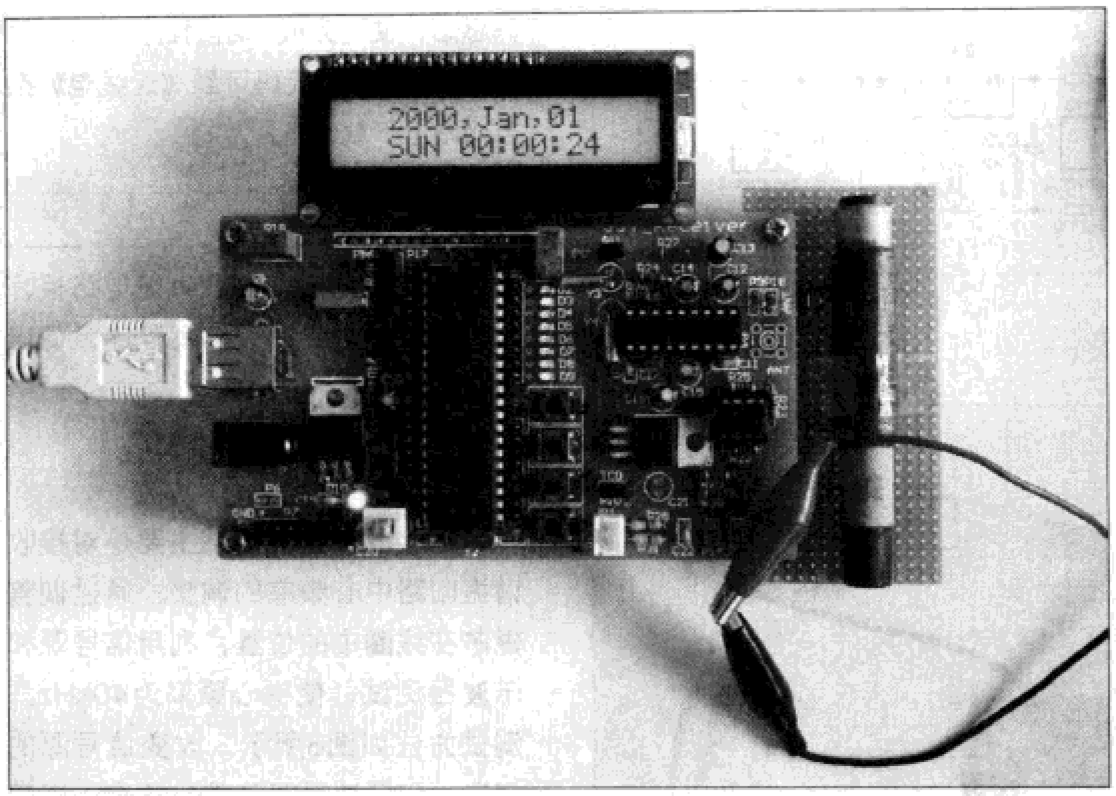


图7 测试输出波形

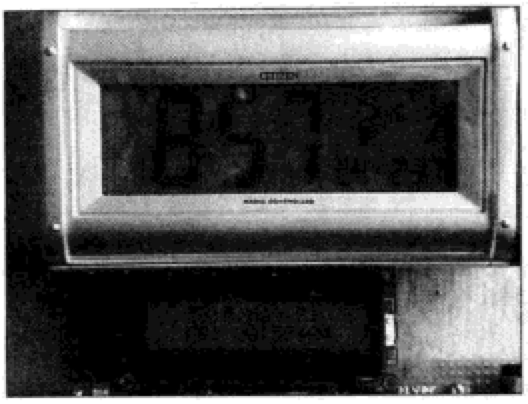


图8 对比测试效果

故应避开以上不良因素来进行测试、调试。选择天气好的夜间在空旷的场地接收，可以接收到质量较好信号。由于磁棒天线有较强的接收方向性，故应使磁棒轴线的垂线朝向发射台的方向。

在满足上述条件下，便可较好的进行测试了。通过监测灯观察接收到的信号，若能接收到信号，则可用肉眼由灯的闪烁观测出JJY信号，同时可通过其他标志灯监测出当前接收解码的状态，根据现象调整接收方向、微调磁芯位置及程序中相关调试门限值的设置，最终可正确接收解码并显示日本授时中心的精确时间，由于是东京时间，若需要北京时间，可在程序中“小时”加一。

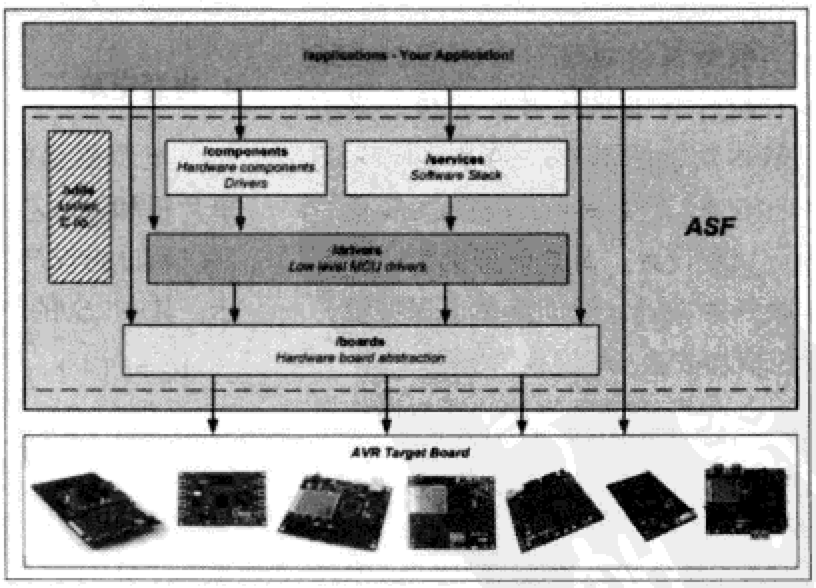
在确定系统可实现授时接收功能后，可改变为所需接收的环境进行测试，以方便使用，但接收方向要保证指向正确且前方不要有大建筑物遮挡，同时保证接收的电磁环境良好，远离各种电器。选择日本CITIZEN商品授时钟表作为参照物，测试结果如图8所示，同步误差小于1秒，接收解码用时视信号质量而定，一般较好质量的信号接收用时2~3分钟。

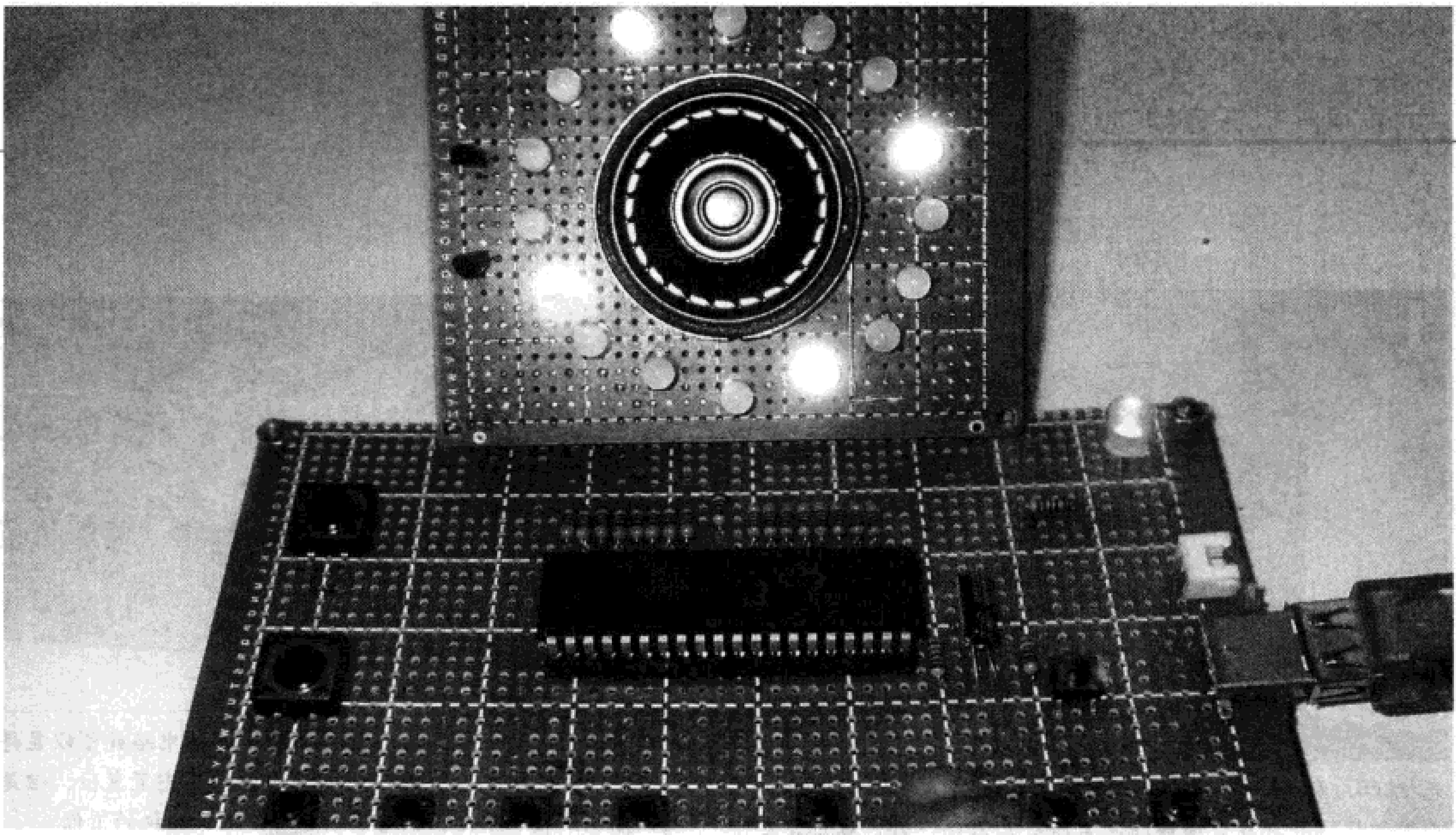
本授时接收系统实现了基本的授时功能，若需根据标准时间进行相关的定时信息处理或控制等，可利用MCU剩余I/O口输出相应控制信号，以实现更广泛的应用。

Atmel公司发布AVR芯片统一软件构架AVR® Software Framework 2.0

日前，Atmel官方为Xmega和UC3系列AVR芯片发布了一个统一的软件构架AVR®Software Framework 2.0。任何人都可以登陆官方网址 http://asf.atmel.no/ 免费获取完整的源代码和文档。

在此次发布的软件构架中，Atmel公司正式将AVR32称为32-bits AVR，而先前的AVR产品则统一称为8-bits AVR。这一名称上的改动配合AVR®Software Framework 2.0的发布，使其不再停留于“Marketing行为”的范畴。





“屏幕式”声光电子琴

◎伍浩荣

电子琴在很多电子制作类书刊和网上论坛中很常见，为什么笔者还要介绍一款电子琴的制作呢？它跟其他的电子琴是否有所不同呢？且听笔者进行详细介绍。

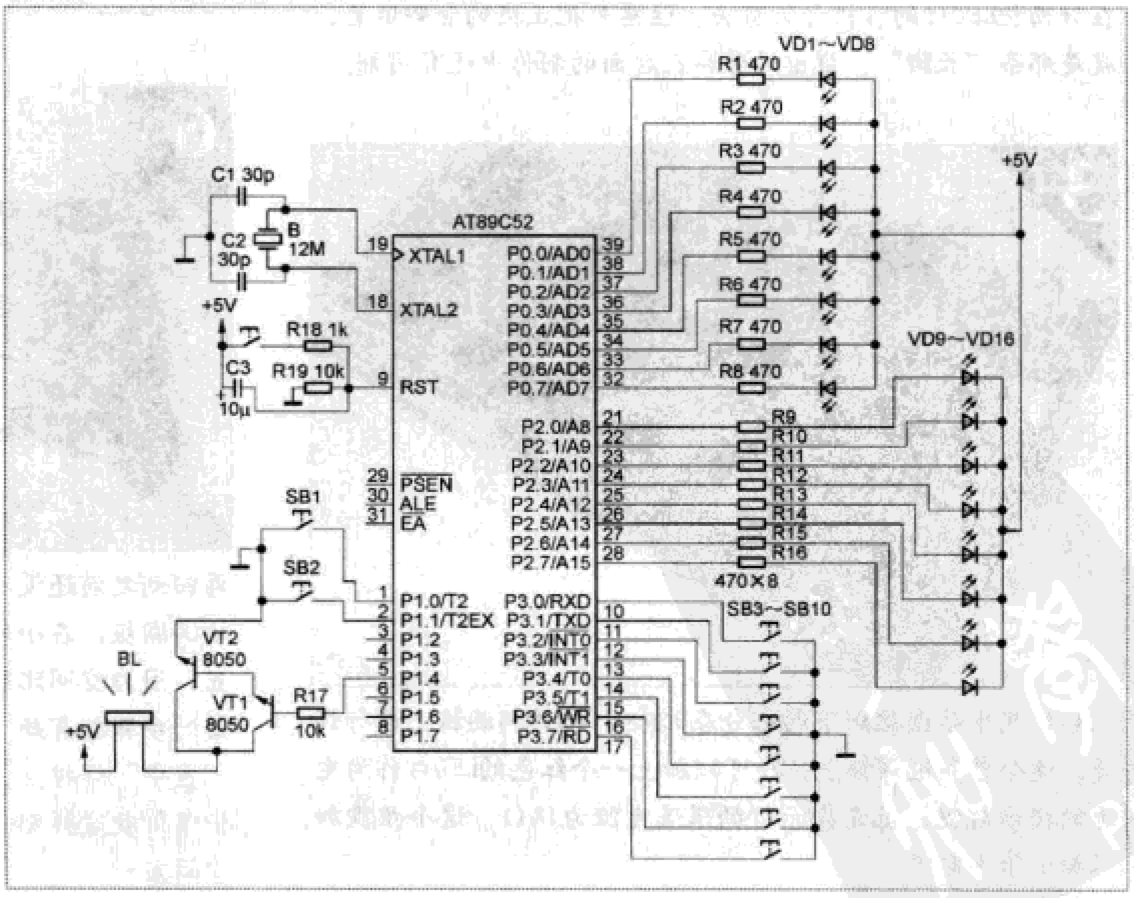
作品功能

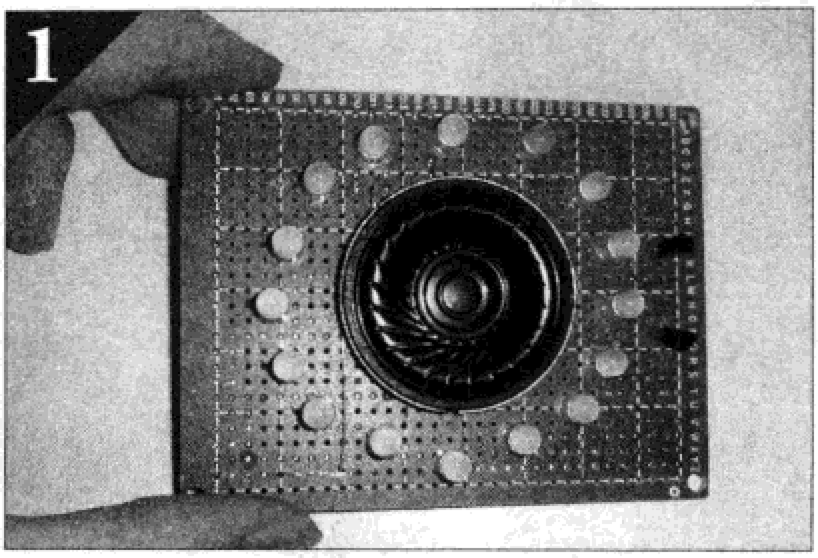
8个按键（SB3～SB10）能发出8个基本音符，而且上面的LED还会伴随着按键点亮，让你同时享受声音跟视觉上的效果，在自己不弹奏的时候还可以播放内置的音乐，内置了一首《生日快乐》，就算你连音乐也不想听，还可以单独拿LED灯来耍耍花样，按右上角的按键就可以转换流动花式，达到两用的效果，用两块板子制作，上面的板子如同一个“屏幕”显示灯光，相信会给你带来全新的制作。电路见附图。

废话不多说，接下来就是制作时间：

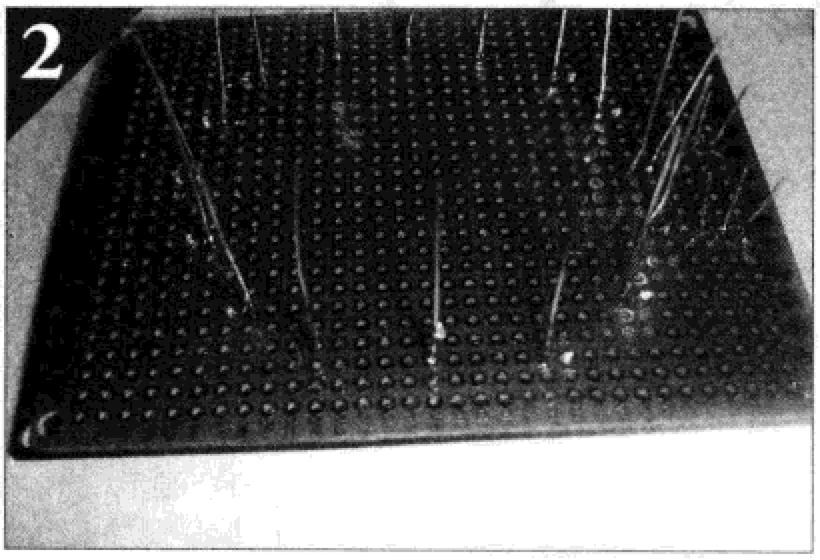
准备器件： STC89C52RC单片机1块
470Ω电阻16只
1kΩ电阻1只
10kΩ电阻2只
黄色LED灯16只（可根据个人喜好选择不同颜色）
小型微动按键8个
较大的微动按键2个
8050三极管2个（NPN型）
扬声器1个
30pF电容2个
12MHz晶体1个
10μF电解电容1个
5cm×7cm的洞洞板1块
9cm×16cm的洞洞板1块
排针若干

准备好了吗？Let’s do it!

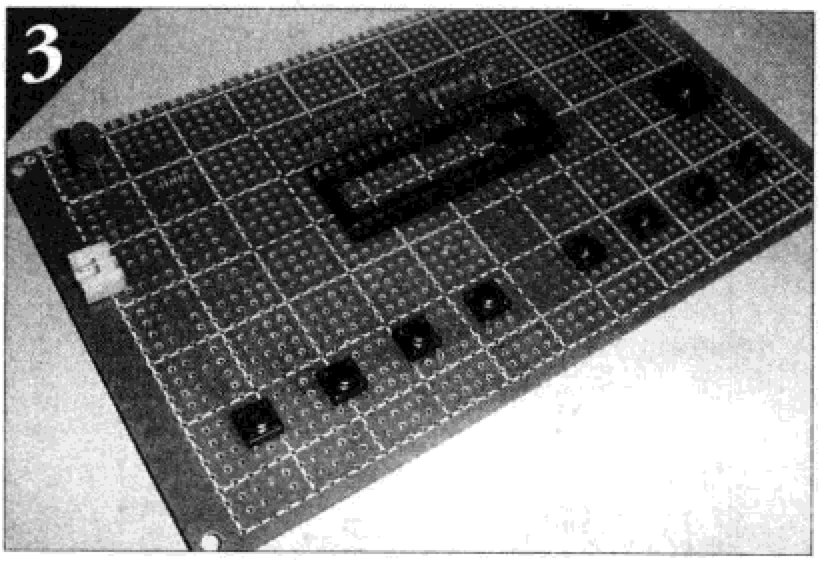




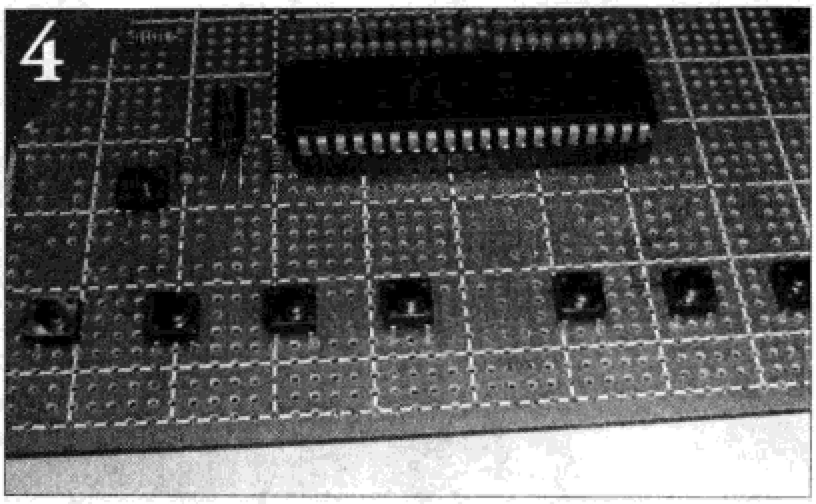
先把LED灯和扬声器、三极管按如图所示在5cm×7cm的洞洞板上排列好，并且在背面焊接固定所有元器件。看！样子是否像葵花呢？我小时候经常画这个呢，呵呵~~



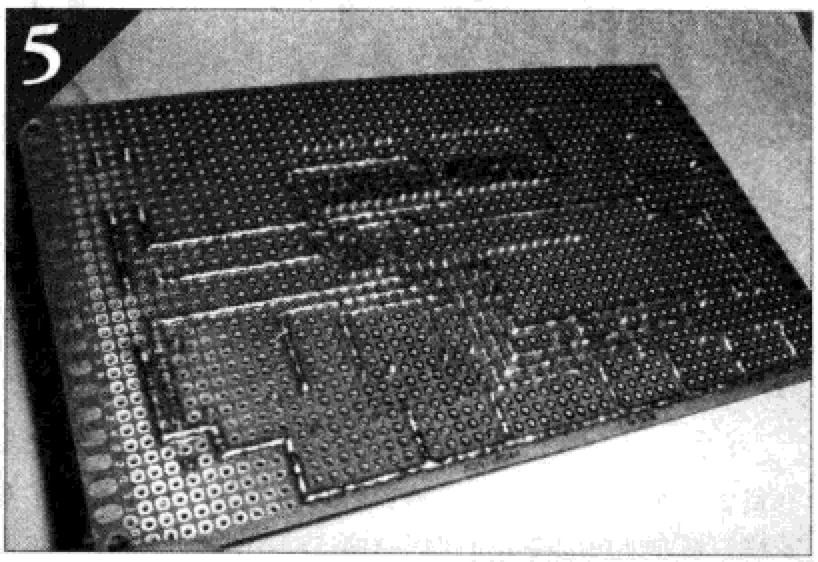
在背面把LED灯的负极管脚剪去，注意先把正极的管脚留着，就是那条“长脚”，留出的管脚在后面的制作中还有用处。



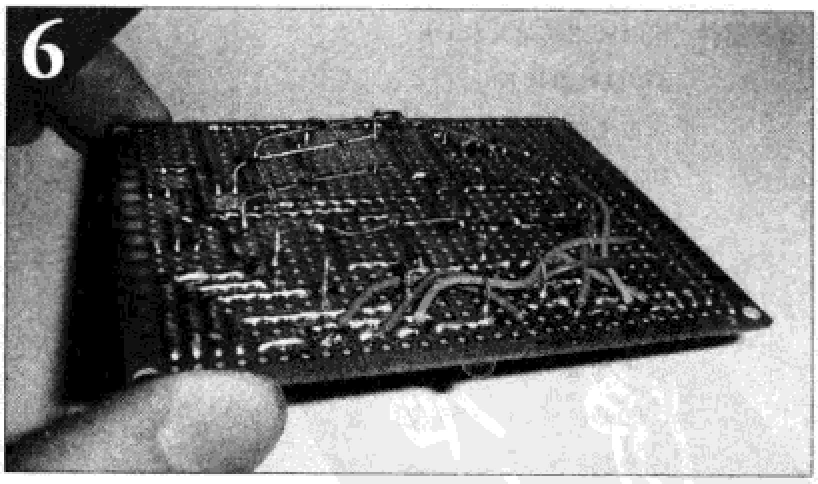
然后按照电路图把剩下的部分在9cm×16cm的洞洞板上进行焊接，逐个整齐地焊接上，还可以加上一个红色的LED灯作为电源的指示灯呢，注意指示灯的限流电阻为1kΩ，这个步骤加不加由你决定吧。



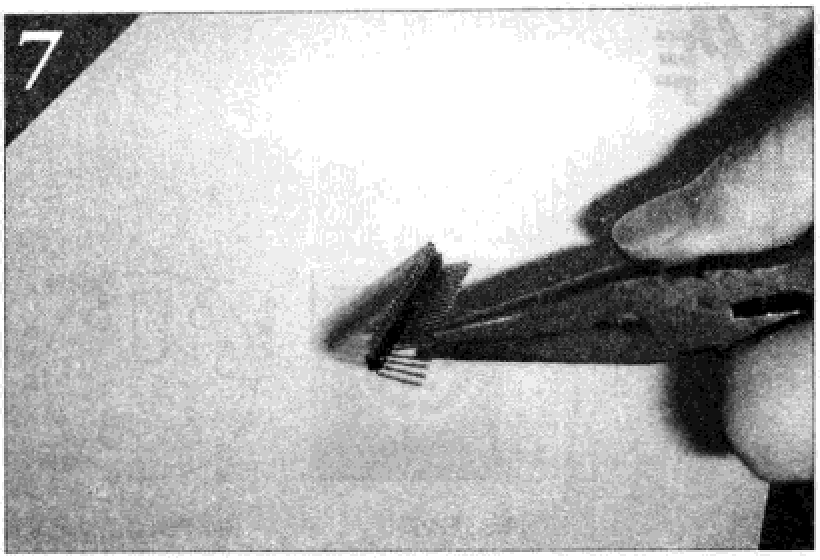
左边部分感觉有些空旷，再焊接上一个复位电路就可以显得有视觉上的平衡感了，因为STC的单片机都有内置复位，但是我们可以焊接一个复位电路用来随时复位单片机的工作。



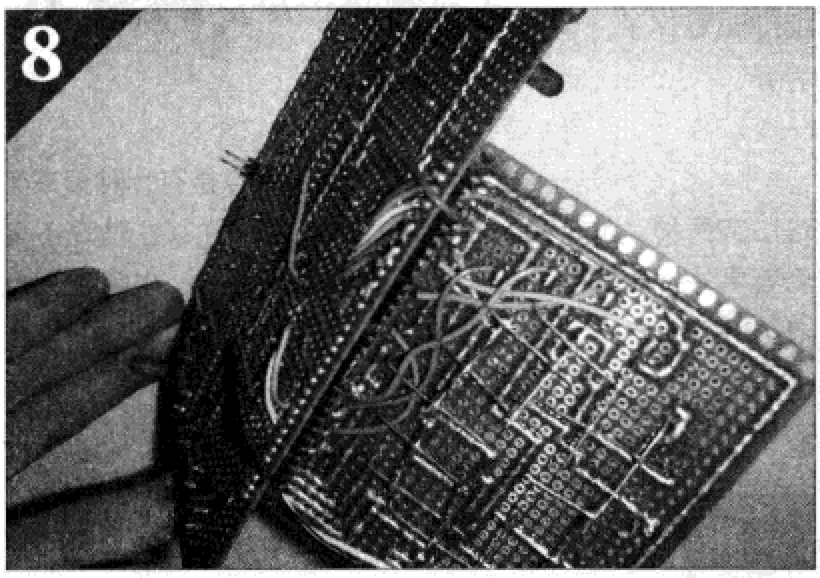
焊接后的背面如图所示，做这个步骤时慢慢地焊接吧，空间比较充足，尽量焊接得好看一点。



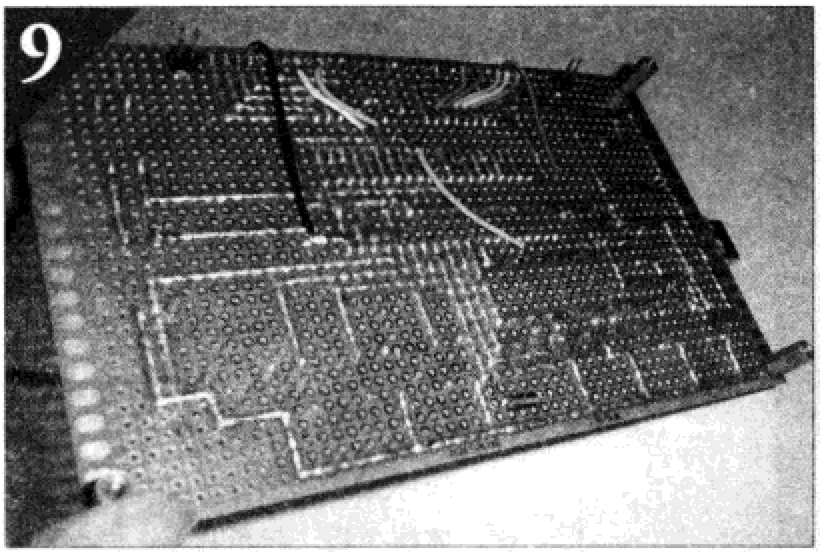
再回到之前还没有解决的工作吧！因为我们要用排针连接两块洞洞板，在小的洞洞板上按照自己的意愿排列好引脚的位置，因为空间比较狭窄，难免多了几条飞线，没办法了。下面的步骤就有趣了，把之前“悬在空中”的长引脚用焊锡在“空中”焊接上，焊接完了如图所示，于是，一个“地球防护罩”就这样制作成了，这样制作还可以剩下大量的洞洞板空间喔～～



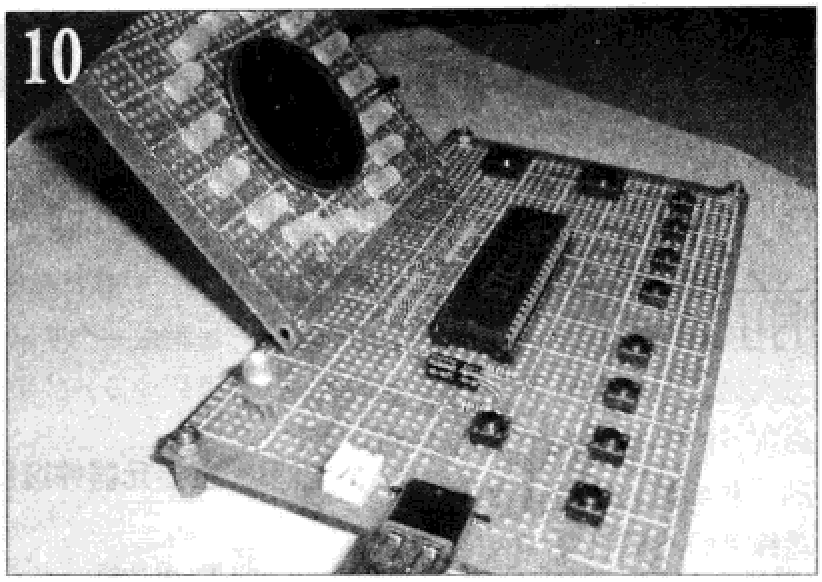
把适量的排针用钳子弯成120° 角，用来连接两块板子。



如图所示把两块板子连接上，使其形成一定的角度，然后查漏补缺把其余的线连接上。



最终焊接后的背面就如图所示，用3个两针的直插排针在背面3个点上面焊接上，这样就可以起到固定作用，使电子琴更加稳固。



形成后正面就如图所示，看！形成一定角度后还很有立体感呢？有趣的洞洞板化身为一个小的“屏幕”，是否让你耳目一新呢？插上电源，指示灯一亮，我们就可以随意弹奏了。顺着按下8个键，“Do、Re、Mi、Fa、So、La、Si、Do#”，而且“屏幕”上还相应有灯显示，有声有色，太有趣了！赶快拿音乐书来看看音符，然后按下相应的键，自己来弹奏吧！

制作感言

制作了多件单片机作品后，趁着心有余热，想把自己的制作感受多说几句，顺便和读者们分享一下动手过程中的乐趣和收获。

我要说的第一句话就是：单片机很好玩。许多人说学习单片机后很难记住，基本上今天学习的知识明天就忘记了，当然，能说这句话的人基本都是想投机取巧的人了，或者说是传说中的“懒人”，他们每天轻易地在电脑面前敲一下键盘就能把敌人打败，或者一跳出来就爆了别人的头，游戏玩到这种境界不能不说是高手。既然玩游戏可以玩出高手来，那么学习单片机是否也可以玩出来吗？答案当然是肯定的，而且单片机要比游戏好玩多了，就我个人的学习历程，首先学会了基本的知识后，就来玩玩前有古人后更有来者制作的流水灯，相信多数单片机学习者都玩过这个了吧？看着LED灯能按照自己的意愿闪烁，不失为一种兴奋，我当初也是这样。当然流水灯想玩出高水平的话也可以向立体思维发展，这是后来的制作，也就是上一期发表的立体LED。玩了一下流水灯之后，就会日有所思梦有所想了，这就是玩久了后的“上瘾”特征，上瘾了就很难停止。糟了！怎么办呢？还是要制作东东来过过瘾吧？于是，混合所学的按键、数码管、中断等知识就制作了一个“微笑时钟”，按照这种思维，才有了后面的几个制作，而这一切竟然都是玩出来的结果。所以，如果能把学习的东西都跟“玩”字拉上关系，并且能自己亲自操刀上阵制作一个的话，学习的东西还岂能忘记？！玩上瘾了比CS游戏还好玩呢！这就是我制作后的感想。

最大的收获当然是日子过得充实了，进入了大学后现在才发现时间不够用，大学时间还是要省着点用，毕竟过一天就少一天，混一天就如放血一天。因此，还是好好计划一下，至于后话就不多重复，自己看着办。一句老话以蔽之：学习无止境。为了能玩得更多，还需要不断地重复学习、扩展知识点，才能制作出更多的电子制作，请读者大人们要好好体会，继续努力奋斗。

实战单片机电子钟制作

◎董庆源

前一段时间开始带学生进行毕业设计，学生想做一个电子钟，问我怎么做，我告诉他得有一点专业性，否则不能称其为毕业设计。经过1个月的反复酝酿，我们确定了如下方案和最终目标：

1．整体功能达到市售电子日历效果，显示内容包括年、月、日、星期、时、分、秒、室温。

2．实时时钟芯片有两种：DS12C887、DS1302。学习和使用过程中可进行选择。

3．数码管控制采用MAX7219专用扫描驱动芯片。

4．电路板上留有PS/2键盘接口，用于调节当前时间、数码管显示亮度、闹铃时间。这一点和普通电子日历有明显区别，毕竟我们做的是一个有点专业要求的电子钟。

5．电路板上安装有继电器，可作为简单的时间控制或温度控制装置。

6．设计出原理图和PCB图，找厂家制出PCB，编程实现预期效果。

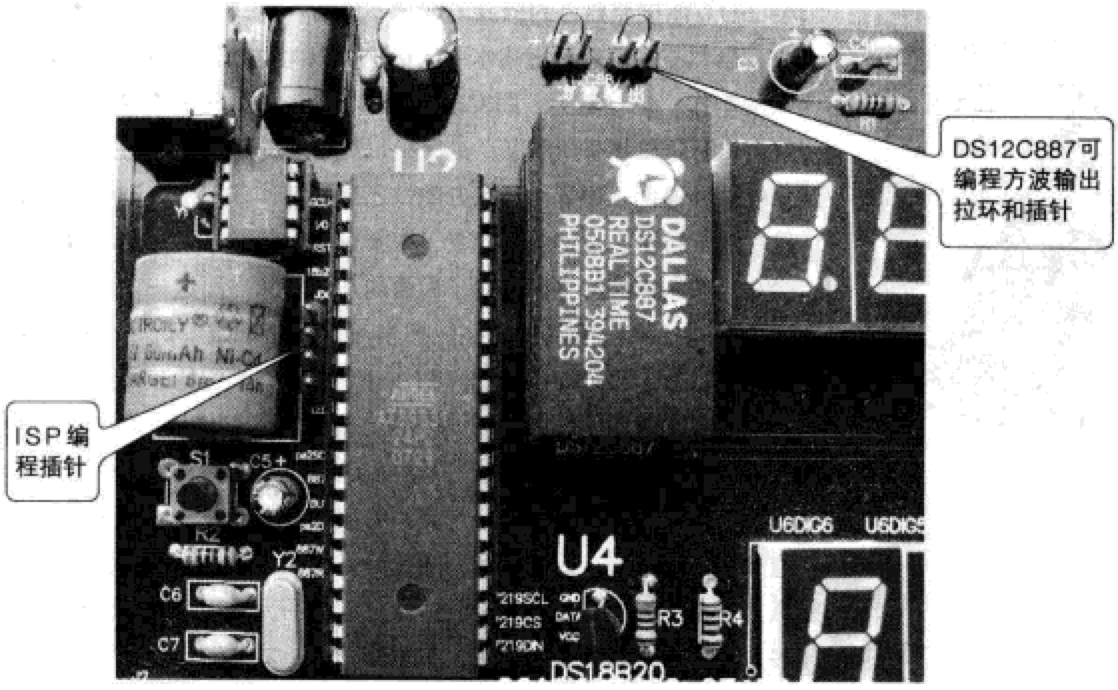


图1 AT89S51侧面ISP插针设置图

下面对整个电子钟的设计和制作过程做一个图示说明，希望对想做这方面毕业设计的学生朋友有所帮助。

主要元器件选用

1．单片机

就用AT89S51吧，太方便了，只要在侧面留有ISP插针接口，外接编程器就可以方便地在线改写调试程序了。ISP编程插针设置如图1所示。

2．实时时钟芯片

有DS12C887、DS1302两种。前者内部自带锂电池，后者要外接后备电池，二者的实物对比如图2所示。

图2 DS1302和DS12C887

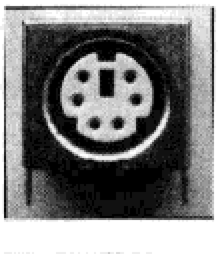


图3 PS/2接口

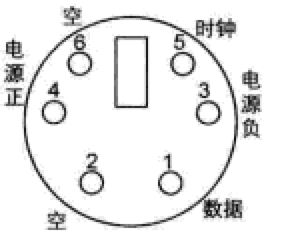


图4 PS/2插孔功能分布

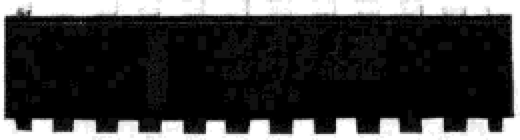


图5 MAX7219

DS12C887的最大特点是有15种频率可编程方波输出功能，在某些情况下可作为简易的方波发生器，电路板上也设有输出拉环和插针，便于不同场合的连接需求，如图1中的标示。

3．PS/2接口

PS/2接口就是电脑主机后面的键盘或鼠标接口，实物如图3所示，共有6个引脚，实际只用4个，分别是电源正、电源负、数据脚、时钟脚，各插孔功能标识见图4。

4．MAX7219

很方便的一款专用数码管驱动芯片，与单片机之间采用三线连接，串行传送数据，就是对电源要求高一些，在紧靠它的地方加上两个电容就能使其稳定工作，实物见图5。

5．温度传感器

DS18B20是最佳选择，体积小巧，与单片机连接简单，数据处理方便，实物如图6所示。

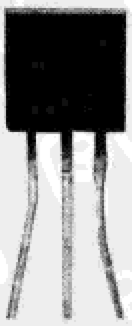


图6 DS18B20实物

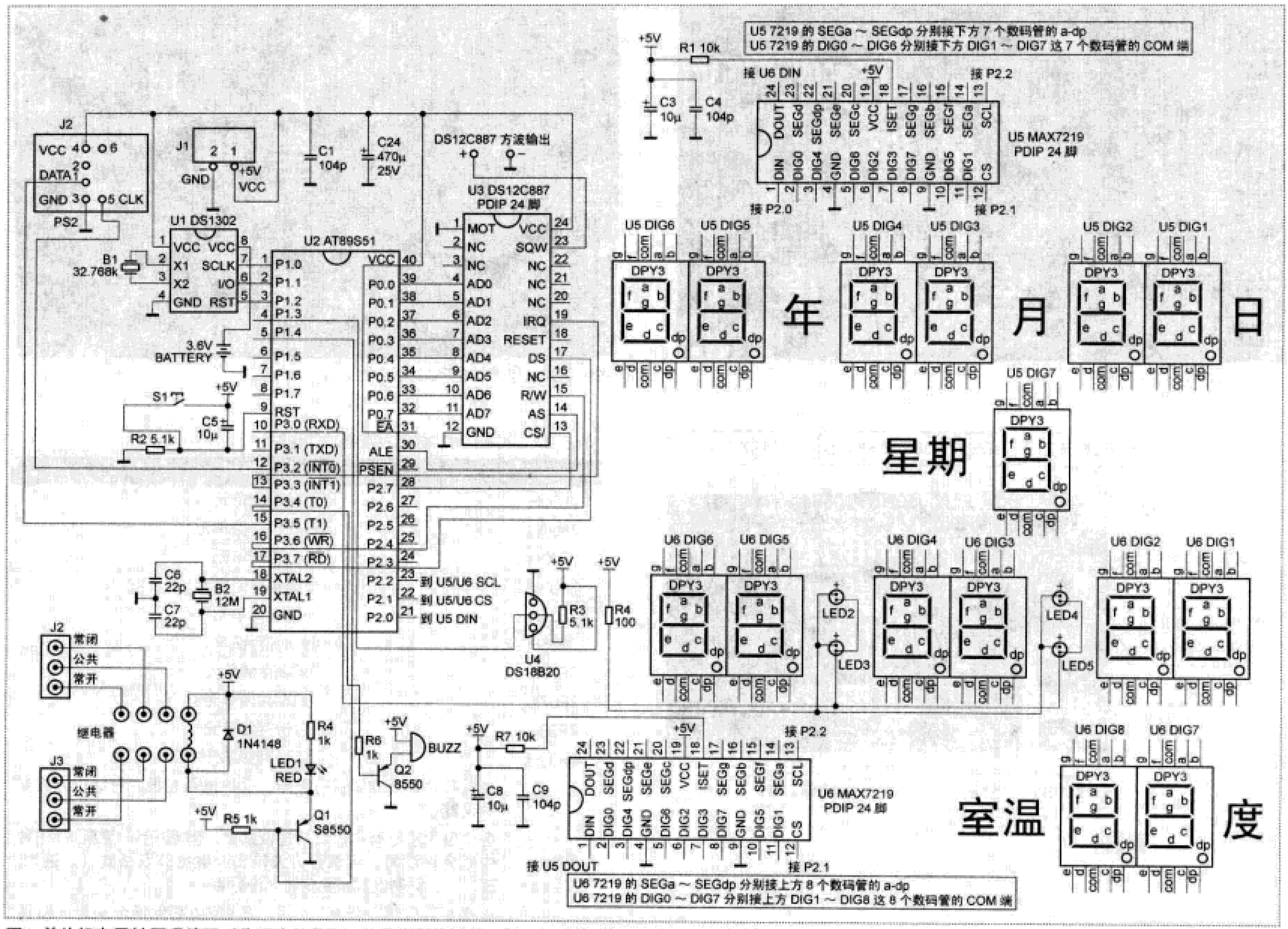


图7 单片机电子钟原理总图（此图为工程图，为与印制电路板一致，元器件代号未做标准化处理）

原理图设计

经过试验板搭接和综合考虑，各器件与单片机各引脚的连接关系如下：

1. AT89S51的P1.5、P1.6、P1.7用于ISP编程，不作他用。

2. DS1302的第7脚（SCLK）、第6脚（I/O）、第5脚（RST）分别接AT89S51的P1.0、P1.1、P1.2。

3. MAX7219的第1脚（DIN）、第12脚（CS）、第13脚（SCL）分别接AT89S51的P2.0、P2.1、P2.2。

4. DS12C887的第4脚（AD0）—第11脚（AD7）接AT89S51的P0.0～P0.7、第13脚（/CS）接P2.7、第14脚（AS）接ALE、第15脚（R/W）接P3.6、第17脚（DS）接P3.7、第19脚（IRQ）接P3.3。

5. LED、继电器、DS18B20分别占用P3.0、P1.4、P1.3。

设计原理图如图7所示。

PCB设计

这里PCB设计没有按照传统的设计顺序，即由原理图到网络表再到PCB，主要是因为有的元件没有现成的封装，相比之下对于这个不太复杂的电路，手工布线更为灵活。经过半个多月的纯手工设计，最终的PCB图如图8所示。

焊接制作及编程调试

将PCB图发给电路板厂家，经过半个月的等待，终于等到了成品电路板，黑色的阻焊层与白色的字符层，更显得对比分明，尤其是对着电路板长时间进行目测检查，没有视觉疲劳感，之前的绿色电路板观察时间长了会感觉眼花。空PCB如图9所示。作者在电路板上作了很多引脚功能和连接标注，对编程调试很有帮助。

购齐所有元器件，焊接好电路板，最终焊接完成的电子钟实物如图10所示。

到这里就可以进入编程调试阶段了，这个时钟程序的编写主要包括以下4个主要部分：

1. PS/2键盘通信

PS/2接口6只引脚中4只引脚是有效的，两只用于供电，只有2只引脚可

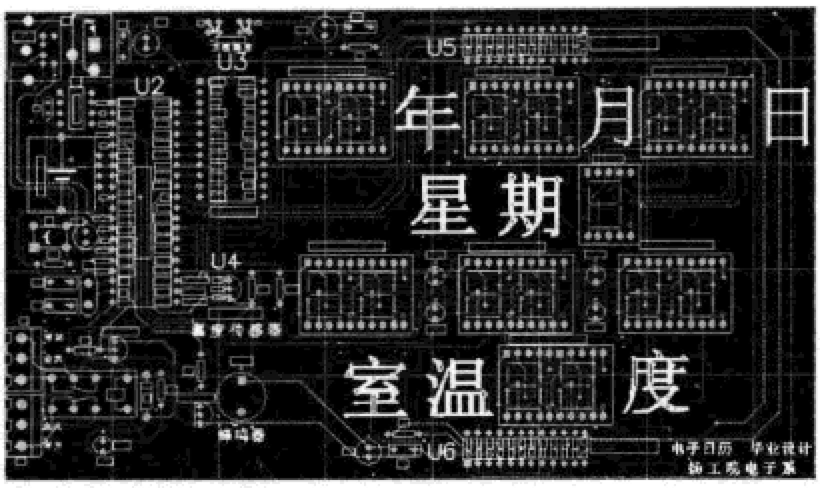


图8 单片机电子钟PCB图

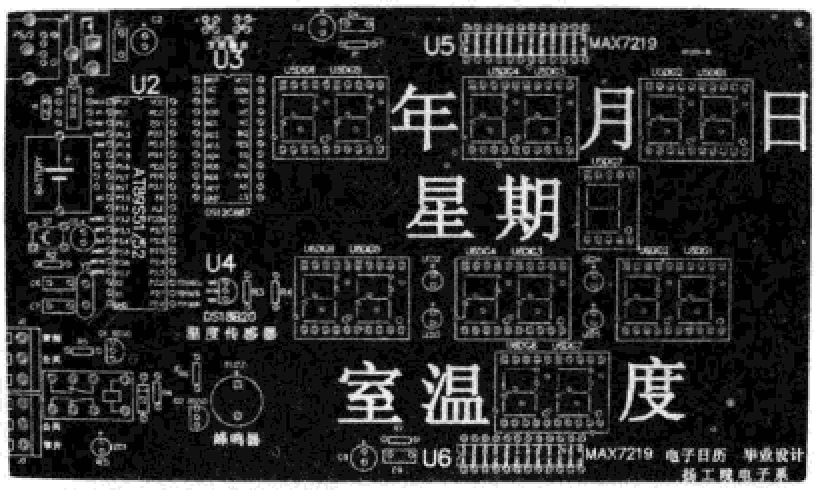


图9 单片机电子钟空PCB板照片

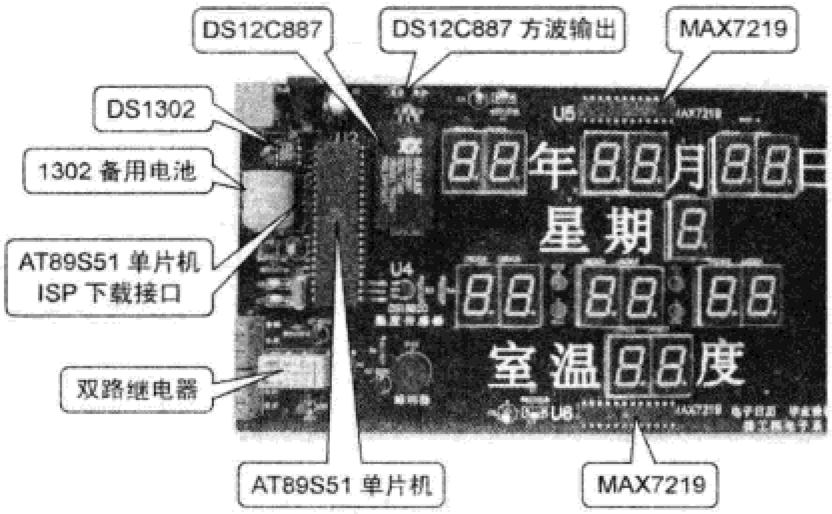


图10 单片机电子钟实物

表1 PS/2数据帧格式说明

1个起始位	总是逻辑0
8个数据位	低位在前
1个奇偶校验位	奇校验
1个停止位	总是逻辑1
1个应答位	仅用在主机对设备的通信中

表2 DS12C887时钟控制寄存器功能说明

地址	功能说明
7F00H	秒存储单元
7F01H	秒闹钟存储单元
7F02H	分存储单元
7F03H	分闹钟存储单元
7F04H	时存储单元
7F05H	时闹钟存储单元
7F06H	星期存储单元
7F07H	日期存储单元
7F08H	月份存储单元
7F09H	年份存储单元
7F0AH	控制芯片是否立即进行更新、晶振是否起振、可编程方波参数设置
7F0BH	各个位用于控制芯片更新是否禁止、周期/闹钟/更新结束3种中断允许设置、可编程方波输出、数据存取格式（二进制/BCD）、时制设置、夏令时允许标志。
7F0CH	该寄存器只读，低4位无用，高4位由高到低分别是中断请求标志位、周期中断标志、闹钟中断标志、更新结束中断标志。
7F0DH	该寄存器只读，低7位无用，最高位VRT如为0表示内置电池能量耗尽

以用来传输数据。PS／2通信协议是一种双向同步串行通信协议。通信的两端通过Clock（时钟脚）同步，并通过Data（数据脚）交换数据。任何一方如果想抑制另外一方通信时，只需要把Clock（时钟脚）拉到低电平。每一数据帧包含11～12个位，具体含义如表1所列。更多的PS/2说明可以参考网上的应用介绍。

PS/2接口与单片机的连接如原理图7所示，由于PS/2键盘要向单片机发送数据时，总是先将第5脚时钟线拉低，这样就可以将PS/2接口的第5脚与单片机的外中断输入引脚相连，一旦PS/2要向单片机发送数据，单片机就可以以外中断的方式优先响应PS/2键盘的输入请求，开始接收数据，接收完毕后，PS/2键盘将时钟线恢复为高电平。

由表1可知，单片机以外中断方式接收PS/2键盘数据时，每接收一帧数据就要中断11次，接收完成后，只要对其中8位有效数据进行比较或查表，就可以知道哪个按键被按下。例如把小键盘区的数字键通码进行排序制表，根据查表的次数就可知道是哪个数字按键被按下。这就是PS/2键盘编程的思路。单片机成功接收了PS/2键盘数据确定是哪个按键后，就可转到相应的程序段执行指定的功能，如设定时间，设定亮度、设定闹铃等。

2．DS12C887的设置和读写

DS12C887内部共有128个寄存器，前14个为时钟控制寄存器，剩下114个供编程者自由使用。14个时钟控制寄存器中的前10个用于存储时钟参数，后4个用于控制DS12C887的各功能组件工作状态。在DS12C887的第13脚片选端（CS）与P2.7相连接情况下，14个时钟控制寄存器地址及具体

功能说明如表2所示。

在本文所示电路连接情况下，DS12C887就相当于是单片机的一个外部并行扩展RAM，数据读写采用MOVX指令直接一次性读出或写入，很是方便。在程序初始根据要求对相关功能寄存器进行设定，然后在每次循环当中读出当前各时间寄存器的数据，经单片机处理后分别送到两片MAX7219的指定位置显示即可，具体可参考源程序。

3. MAX7219的初始化和数据写入

MAX7219是一款专用数码管驱动芯片，内部设有动态扫描电路，它以串行通信方式接收到单片机的显示数据后，对指定位置的数码管显示内容进行更新，为单片机节省了宝贵的软、硬件资源。MAX7219的一个显著特点是可以通过设定亮度控制寄存器的数值来控制所接数码管的显示亮度。MAX7219内部有14个寄存器，用于控制数码管显示的内容和状态，各寄存器功能列表如表3所示。

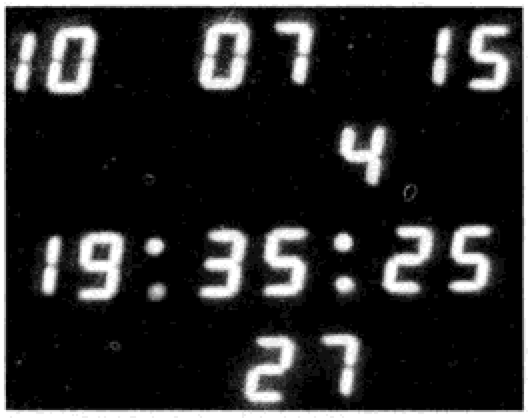


图12 单片机电子钟夜间运行效果

表3 MAX7219寄存器功能说明

编号	功能说明
0	空操作地址
1~8	第1~8个数码管显示地址
9	译码方式控制寄存器，为0FFH表示使用内部BCD译码器，为00H表示不使用
A	亮度调节控制寄存器，分16级，参数范围：00H—0FH
B	扫描位数控制寄存器，根据所接数码管数量确定，参数范围：00H—07H（1只—8只）
C	显示开关控制寄存器，为1所有数码管正常显示，为0关闭所有数码管
D	显示器检测控制寄存器，为1所接数码管的各段全部点亮，用于检测是否有损坏，再送入0，恢复正常显示内容

MAX7219的初始化就是对后5个寄存器进行设置，由于检测只需在电路板焊接好进行一次就可以，所以程序初始主要是写入译码方式、显示亮度、扫描位数、显示开关4个控制寄存器相应数值。到这里就可以发现通过PS/2键盘设定数码管显示亮度，就是识别按键后对MAX7219的亮度控制寄存器重新写入新数值。

MAX7219每个寄存器的写入分两步，第一步先写入寄存器地址，第二步再写入寄存器数据，具体的写入语句见源程序。这里简要介绍一下MAX7219级联状态下数据写入思路，这个电路板上用到两片MAX7219（U5、U6），由原理图7可见U6的输入端（DIN）接到U5的输出端（DOUT），这样就称U6为后级，U5为前级，写入子程序段执行一次就把地址和数据先送到后级的U6，再执行一次才送到U5，以此类推，如果3片MAX7219级联，写入子程序就要执行三次才能分别将数据送到相应的MAX7219。

4. DS18B20数据读取和处理

DS18B20内部结构和工作原理就不介绍了。单片机对读取到的温度数据进行适当处理，就是将读出的二进制数据转换成BCD码，再将转换到的BCD码高低位分离，送到MAX7219的相应位置显示即可。

将编好的程序写入单片机，一个原汁原味的单片机电子钟就制作好了，夜间的运行效果如图12所示。

制作调试问题汇总

1. 试验板搭接是必须的，否则无法确定原理线路正确性。

2. DS12C887有一个上电稳定时间，在程序初始进行几十毫秒的延时即可，否则会读出不正确的数据，因为这个问题编程时多花了2天时间。PS/2键盘设定好亮度后，将亮度参数保存到DS12C887的7F0EH单元，重新上电后应能读出上次设定的亮度参数，但每次读出的均为0，百思不解，上网搜索也无结果，反复试验思考，终于发现DS12C887的用户RAM区上电需要一个稳定时间，否则读出的数据始终是0。

3. MAX7219对供电电压稳定性要求较高，大小两个滤波电容要紧靠芯片布置，参数设置要恰当。在试验板搭接阶段经常发现MAX7219显示会错乱，查找各类网页资料，就是要设置滤波电容，但试验板上没有紧靠芯片设置，而且采用的是飞线，一直到制成PCB后这个问题才得到解决。

4. MAX7219的质量问题。网购是现在电子元件获取的主要途径，但发现特便宜的MAX7219质量无法保证，所以大家网购电子元件时，要注意这个问题。

5. 网上的参考资料要多对比，才能确定其正确性。

待改进之处

1. 可在板上合适的位置增加几个独立按键，日常使用调节更方便些；

2. 显示内容可增加农历和湿度；

3. 可以用光敏电阻配合串行A/D转换芯片（如TLC549）实现显示亮度的自动调节，以适应环境光线的变化，这样子就更加具有专业性了。

程序或硬件电路，读者可结合自己的想法，做出更加合理的改动。特别说明：原理图、PCB图、源程序和流程图都可以在《无线电》网站下载。

图形液晶模块应用入门 3

无字库12864液晶模块应用实例二

小小温湿度计

◎卫小鲁

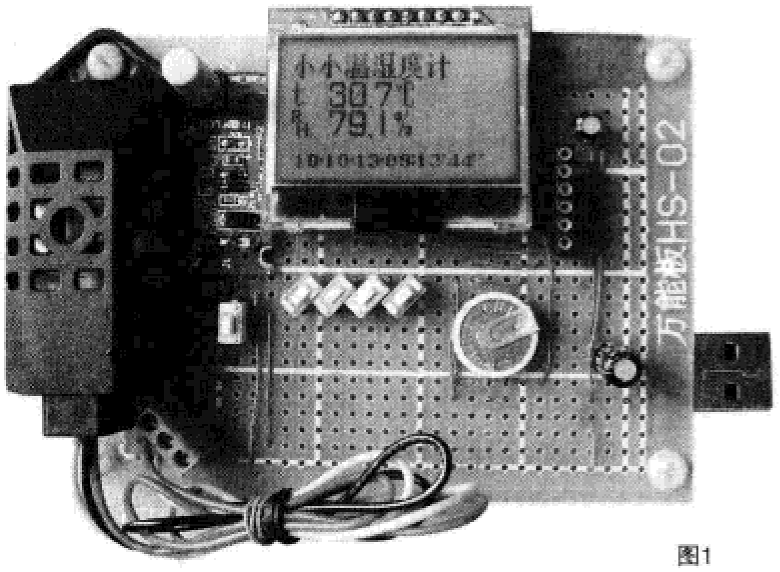


图1

在上次介绍的日历钟的基础上扩展一下：让它具备检测大气温度和湿度的功能，一天 24 小时不间断运行并定时检测，于是，日历钟就摇身一变成为一个小小温湿度计啦。虽然气象要素很多，不过我们最常用的就是气温和湿度。一个是冷热程度，一个是环境空气中含水蒸气的多少。一般家用温度计很常见，湿度计就比较少，以前有一种干湿球温度计，但是用起来比较麻烦，准确度也不高。现在应用电子技术我们就可以做一个可以同时显示温度、湿度、时间的小仪器，放在家里以便随时监测我们的小环境。它的特点如下：

1. 在单片机ATMega8L-8PU（以下简称M8）和日历钟电路DS1302的基础上，使用一个在工厂经过精密校准的数字式温度、湿度传感器AM2301作为探头；

2. 当24小时连续工作时，纵然工作电流仅为几毫安，也不宜使用纽扣电池供电。这次选用可充电的3.6V聚合物锂电池，使它的放置地点可以不受电源限制，可以在室内，也可以在不受阳光直射和雨水接触的室外；

3. 具有文字和图形界面，可以显示温度和湿度数值，以及12小时内的湿度变化记录曲线，为什么是湿度曲线呢？

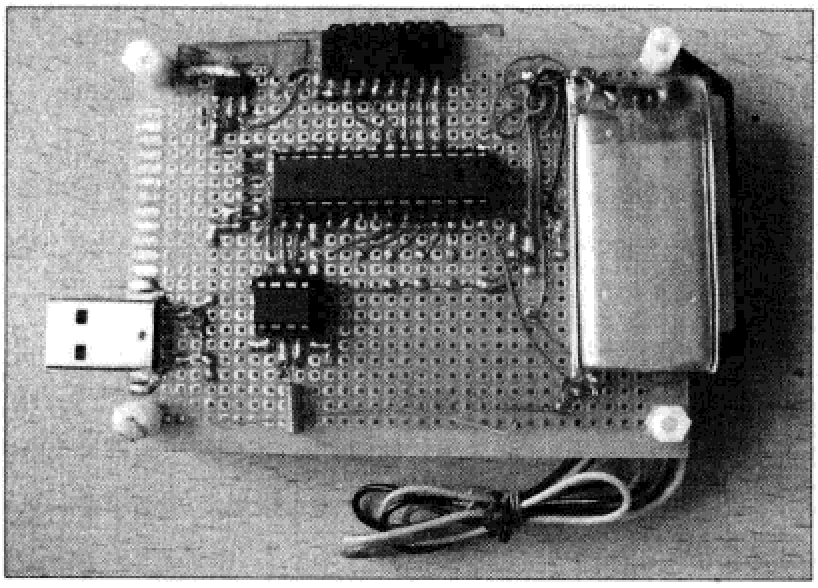


图2 电路板背面元器件分布和连线

因为气温的变化规律一般比较稳定，湿度就不一样了，我们可以从湿度变化趋势估计一下未来的晴雨可能，这比看燕子飞高飞低要靠谱些吧？两个界面用按键切换；

4. 具备锂电池线性充电电路，通过USB接口从外部取得5V电源，一边供给充电，一边维持电路继续工作；

全部元器件安装在一块70mm × 90mm的小万用板上，正面、背面外形见图1、图2。正面左边那个黑色小乌龟壳就是温湿度探头。

电路原理

电路见图3。图形点阵液晶、单片机M8、时钟电路DS1302和上次小小日历钟基本相同，不再重复。有两点稍稍不同：

1. 液晶的控制虽然还是通过M8的PD口，但具体接线有所改变，不再占用两根串口线PD0和PD1，目的是为今后可能和外部通信预留接口。这好办，编程时重新定义即可；

2. 因为常用电源是带保护板的3.6V充电锂电池（图3中GB2），它放完电会自动切断，为了使DS1302继续工作，必须另外使用一片3V纽扣锂电池CR1225（图3中GB1）作为时钟芯片的后备电池。也可用法拉电容，但较贵。

TRH是数字式温湿度传感器AM2301。它内部有经过校准的电容式湿度传感器和负温度系数热敏电阻（NTC），以及8位单片机。可测量温度范围是-40～+80℃，精度最大±1℃，湿度范围是0%～100%，常温时精度±3%，分辨率都是0.1。温度信号、湿度信号最后都转换为一个40位的二进数串行输出。其中的高16位是湿度，中16位是温度，低8位是校验和，当高16位加中16位等于低8位时，说明测量结果正确，可以采信。它使用单线总线结构，接线很简单，一共就3根线：图3中的R表示红线，接电源（3.3～5.5VΩ），Y表示黄线，是信号线，按照要求需要外接5kΩ上拉电阻R2，接M8的PC5引脚。B表示黑线，接地。

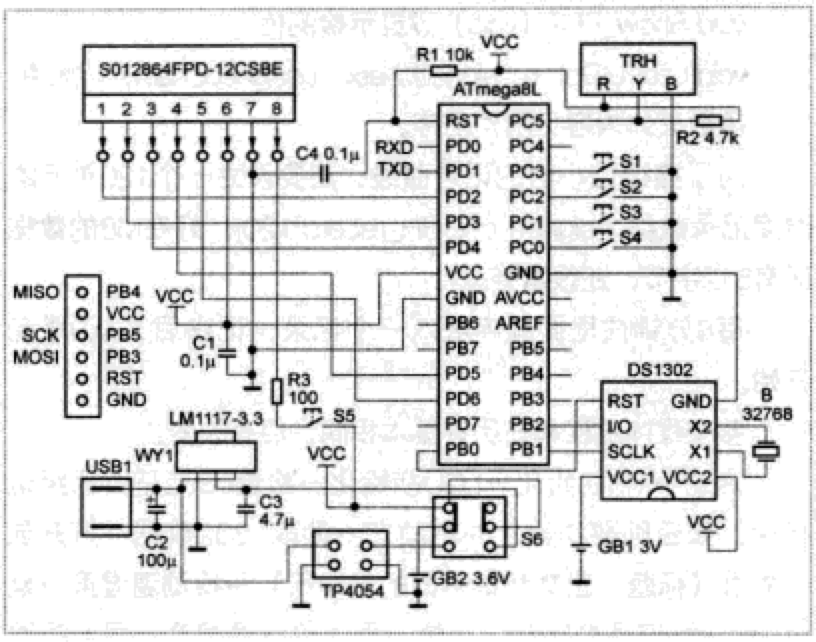


图3 电路原理图

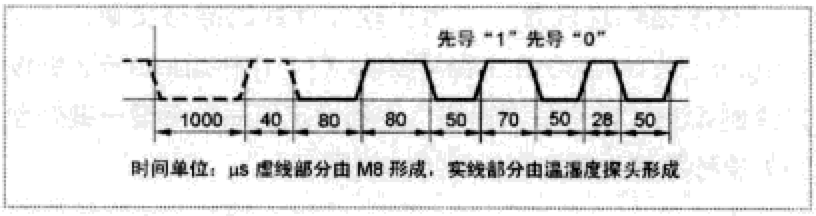


图4 AM2301的读写时序脉冲示意图

轻触按钮S1～S5还是作校时用，没有变化。

为了给 400mAh 的锂电池充电，通过 USB 插头把外部的 5V 电压加到智能线性充电模块 TP4054。另外一个 2×2 微型自锁开关 S6 可以选择电池供电，或者电池充电。充电时 5V 外部电压经稳压器 WY1 降低为 3.3V 为 VCC 供电。

用上蓄电池了，液晶背光也可以“奢侈点”，偶尔用它一下。为此，增加了限流电阻R3和轻触按钮S5。

硬件组装

这个温湿度计电路简单，所需元件不多。除了温湿度传感器和充电模块比较特殊以外，其他都是普通元件。几个电阻和退耦电容都是用的贴片元件，尺寸是0805，和洞洞板可以很好地配合。当然也可用普通的引线电阻、电容。集成电路使用双列直插插座反装，这样就有效利用了正面液晶屏占用的面积。具体做法和小小日历钟一样。

温湿度传感器和充电模块我都是从淘宝网上买的，搜一下“DHT21”和“TP4054”就可以找到大把，价格不高。温湿度探头的敏感元件都是装在通风透气的乌龟壳内，胶死了打不开，也就不要试图暴力拆解了，以免污染了敏感元件影响性能。

反面焊装IC插座的办法是先把引脚向外折平（这样子它更像小蜈蚣了），然后把引脚尖端稍向下弯，在洞洞板反面定位后，用尖头镊子把引脚尖端逐一捅进焊盘洞洞里，外接引线也插入相应洞洞里，一并焊接。

要注意两个锂电池最后安装，安装前必须先检查已经装好其他元器件和接线的电路板，确认VCC和地端没有短路故障。在焊接前电池先不开封，避免不小心正负极短路，以至于“出师未捷身先死”。带引脚的纽扣电池焊好即固定了，充电电池则用较厚的双面胶粘接在电路板反面固定。完工后四角一定要装上垫柱，避免电路板直接与平面接触。

其他就没有什么诀窍了，也就不再搞看图识物。7cm×9cm的洞洞板安装全部元件很宽松，实际上要想使这个小玩意工作起来，还要靠“软功夫”。下面一一分解。

编程之一：AM2301的读写时序

前面说过，温湿度探头输出的是40位的二进数。在探头进行测量并输出数据前，主控单片机M8和探头有个握手过程，步骤是：

M8的PC5空闲时一直为高，数据线处于释放状态。要启动测量，M8就在PC5输出低，使数据线拉低1ms以上（程序中用的10ms），把PC5转为输入状态，外部上拉电阻R2立即使数据线升高。在40μs以内探头发出响应：把数据线拉低80μs。M8读到这个低电平，知道探头回话了，接着探头也释放数据线80μs，M8就明白随后就是数据了。数据总是以50μs低电平先导，随后并不是以电平高低表示1、0，而是以高电平脉冲宽度表示1、0：70μs表示1，26～28μs表示0。为了识别1和0，M8可在读先导低电平完成后，延时35μs再次读数据线，如果为高，就是1，如果为低，就是0。探头连续送出40个低-高脉冲后，再次拉低数据线50μs，结束数据送出。脉冲示意图如图4。

实际使用时还要注意，测量应进行两次：第一次测量后，过2s再测一次，这次M8读出的数据是两秒前的测试数据。如果连续测量，间隔2s最好，无论如何不得小于1s。实际上气温和湿度一般也不会变化那么快。现在做的是每分钟测两次：在0s和2s各测一次，2s读出0s的数据，0s读的是上一分钟的数据，就丢弃了。

编程之二：AM2301的数据格式

如果数据正确（通过检查和校验），就需要把高 16 位湿度数据换算成十进位的 3 位数：000 到 999。在个位和十位间加上小数点，就是湿度的百分值。例如 M8 读出的高 16 位是 0B0000001100001101=512+256+8+4+1=781。湿度就是78.1%。温度类似，但是如果温度最高位为 1，意味着零下温度。

编程之三：怎样画出记录曲线

要画出一段时间的记录曲线，也就是在液晶上面按照这

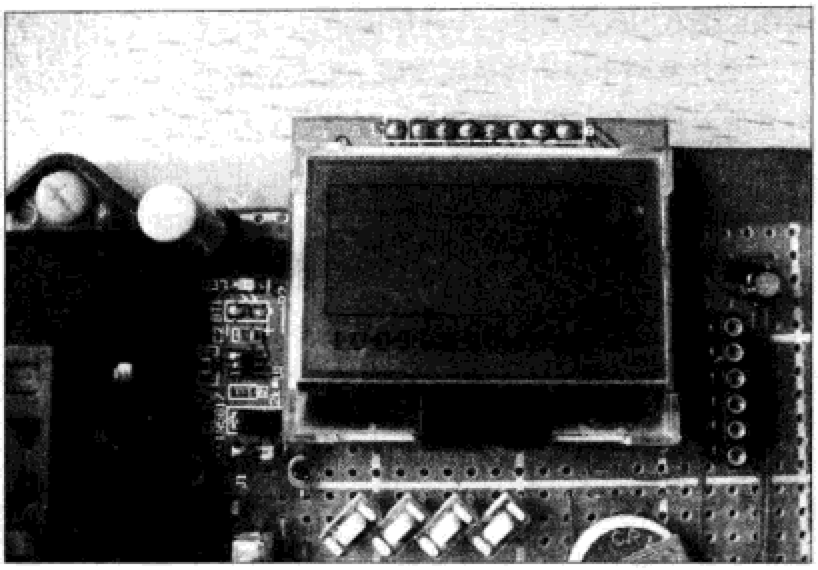


图5 12小时内的温度变化记录曲线

段时间顺序记录的数值画出对应的点。

在这块图形液晶画点的基本方法前次已经介绍过，就是先设置列坐标*x*和页坐标*y*，再写数据，用LCDSetxy（unsigned x，unsigned y）和LCDWriData（unsigned data）两个函数就可以在x列y页点亮任意8个点。但是如果直接用页坐标来画出通常用垂直坐标（行坐标）表示的点则非常不便。

要按照列坐标x和行坐标h（h从0到63共计64行）来画一个点，而这正是画记录曲线的基础，我们可以变换一下，先用h/8算出h所在的页，例如h为45，那么它就在45/8即5页。而余数h%8就是h在该页的第几位（现在是第5位），让一个数unsigned char tmp=0x01;那把它左移5位得到的数值0x20就是用列坐标和页坐标画点时需要给液晶输入的数值。这些数值对于每次仅仅1个点，从低位到高位只能对应于0x01、0x02、0x04、0x08、0x10、0x20、0x40、0x80这8个数中的一个。这样我们可以捏造一个函数LCDPutDot（unsigned char x，unsigned h），就能在x列，h行画出一个点了，具体代码见后文。形式上用行列坐标参数，实质上还是页列坐标参数，但却方便多了。现在再回到怎样画湿度记录曲线。由于液晶像素的限制，水平只能取128点以下。那么如果每6分钟记录一次，12小时就记录120次，把这120次的湿度数值和液晶的垂直方向点位置（与行坐标成比例）对应起来画一系列点，不就是记录曲线吗？当然垂直方向只有64点，那么我们就取51点，0到50表示0到100。还要提醒的是，液晶的垂直方向，0点在最上面，这和通常的习惯相反。那也没关系，就把（100-*h*）/2作为垂直坐标就对了，为简单计，可略去小数。

至此几个编程的关键都说完了。按此在程序中加入了新增的函数：

unsigned char DHT21_ReadByte（void）;//读探头串行数据

void DHT21_RHT（void）;//发起检测，读数

void Show_RHT（void）;//显示检测值

void LcdPutDot（unsignedcharx，unsignedcharh）;//画点

函数具体内容见附件程序。

为了描绘12小时的记录曲线，还要设立一个120单元的湿度记录数组unsigned charRH_record[120]，好在M8的数据区有512字节，还很富裕。

每6分钟往里面顺序填入一个记录，记满后又从0单元开始。

整个程序流程和日历钟基本相同，但有改变：

启动→M8初始化→LCD初始化→检查1302是否已经运行中，如否则要初始化并启动它→读取1302数据→打开显示界面（标题、正文和最下面的显示行）→检测温湿度→延时2秒→给记录数组赋以初值→再次检测温湿度→显示温湿度→进入程序循环。

程序循环是设置一个用于软件计数的静态变量:const unsigned int delta=0;在主循环while（1）{}中当delta未达到设定值例如3800前它每次递增，达到设定值后再查键→键处理→如果秒数值改变就刷新日历钟的显示。

有所改变的是如果计时达到1分钟，就开始一次检测温湿度→2秒后再检测并更新温湿度显示→如果是6的整数倍分钟，则还要在湿度记录数组中填入新的湿度记录。

在S4的按键功能触发时就按照湿度记录数组的数值逐一绘点，形成曲线。其中还包括水平和垂直标尺的绘制和当前记录位置指针的绘制。

调试

调试过程和小小日历钟类似，就不重复了。只要元件正常，接线正确，加电后把程序注入M8立刻就可以运行。绘制曲线则要等到1小时以后才画出一小段。经过12小时曲线完成，你就可以知道过去12小时的湿度变化趋势了。按照我这里来看（番禺郊区），湿度波动还是蛮大的，晴热时可以低到40%，一下暴雨会升高到80%以上。

如果发现温度、湿度显示都为 0，那么检查探头接线是否有断开。如果突然不显示了，那么恭喜你！锂电池保护板发挥了作用，没电了！赶快切换 S6 充电吧！在这个基础上还能进一步改进：找出 24 小时内的最高温湿度和最低温湿度，设定报警点，实现超限报警以及把信号发送出去等，就靠你啦！

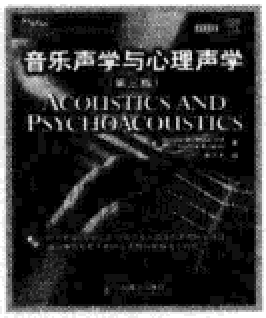
使用

把它充好电，按一下S6，切到电池供电位置就可以了，把它放在桌上、挂在墙上都可以，只要不阳光直射，阴凉通风就可以。充一次电大约需要90分钟，充好后可以用三天以上。

倾听大师的声音

联合全球著名传媒图书出版社 Focal Press 倾力巨献

音频技术与录音艺术

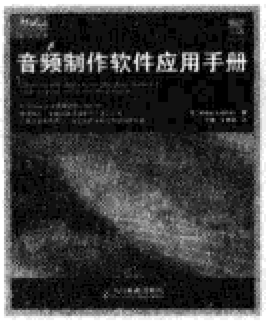


978-7-115-21677-9
定价：75 元（含光盘）

978-7-115-23819-1
定价：120 元

978-7-115-21718-9
定价：88 元

978-7-115-21641-0
定价：68 元



978-7-115-20920-7
定价：68 元

978-7-115-23255-7
定价：120 元

978-7-115-24075-0
定价：120 元（含光盘）

978-7-115-23861-0
定价：150 元（含光盘）

978-7-115-22919-9
定价：68 元（含光盘）

978-7-115-22925-0
定价：95 元（含光盘）

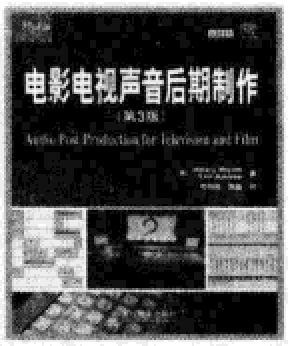
影视制作与导演制片

978-7-115-23530-5
定价：68 元（含光盘）

978-7-115-21934-3
定价：58 元

978-7-115-20953-5
定价：80 元（含光盘）

978-7-115-23396-7
定价：120 元（含光盘）



978-7-115-21935-0
定价：58 元

网上购买

卓越亚马逊网上书店：http://www.amazon.cn
当当网上书店：http://book.dangdang.com
互动出版网：http://www.china-pub.com
邮科图书专营店：http://Youkets.mall.taobao.com
邮购热线：010-67129212 67129213

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街 14 号 A 座
邮编：100061
咨询电话：010-67132837

特别策划

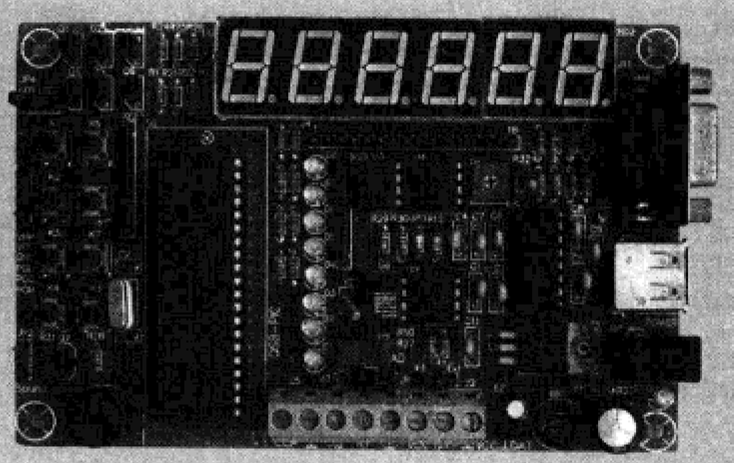
◎周坚

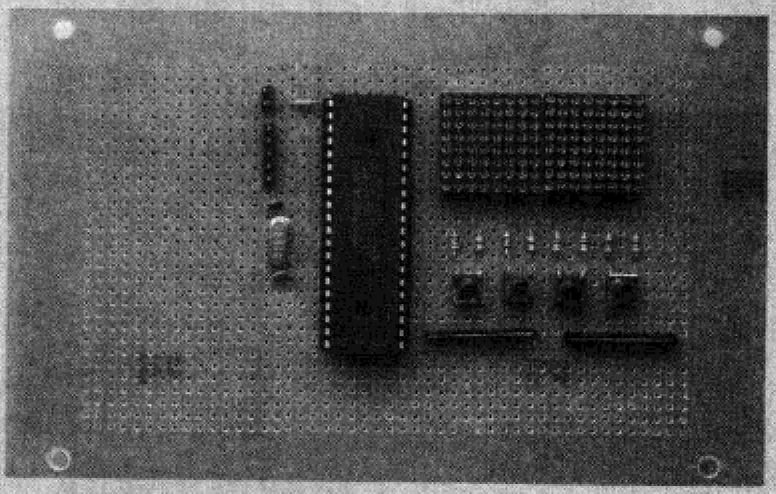
PIC单片机轻松入门（上）

从本文开始，将有一个PIC单片机入门教程带给大家。在开始之前，先介绍一下PIC单片机。

在我国，单片机是对“微控制单元（MCU）”的约定俗成的称呼，它们属于计算机中的一个分支。从数量的角度来说，这一类“计算机”绝对稳居第一，2007年的出货量数据为20G（200亿）片，且每年都增长迅速。

与PC机领域不同，单片机领域可谓百花齐放，有大量不同型号、不同性能、不同生产商的产品可供用户选择。其中大家耳熟能详的有80C51、AVR、PIC系列，除此之外，三星、摩托罗拉、ST等各大著名半导体公司都有自己的单片机系列。





PIC单片机问世以来，一直以其工艺性能稳定、系列齐全、功能强、开发成本低等优点而深受使用者的欢迎。随着PIC单片机在国内日益广泛的应用，各种与PIC单片机有关的资源（教材、开发软件、开发板、论坛、开源项目等）也日渐丰富，因而现在学习PIC单片机入门快、成本低。尤其是PIC具有体系完整的特点，从低端的8位机到中高档8位机系列、16位机系列、DSP系列直至高端32位系列一应俱全，这些芯片的设计思想一脉相承，开发环境及开发工具相同，因此，学习了8位PIC单片机，也相当于一只脚踏进了高性能单片机的大门。

下面的教程，我们将带着大家来领略一下PIC单片机的风采。

阅读本教程，需要读者有基本的电子知识，并对C语言有所了解。如果读者学过80C51系列单片机，可以在学习中将两种单片机进行对比，更有利于掌握和理解PIC单片机的性能特点。

硬件开发环境的建立

◎周 坚

程序的编写离不开仿真和调试，如果要生产，还需要量产的工具。微芯公司在这些工具的提供方面值得称道，在当年 80C51 仿真机、通用编程器非常昂贵的时代，可以说该公司开启了一个低价开发工具的时代。以至于目前几乎所有单片机，包括 ARM 这样的 32 位单片机，它们的开发工具都不贵，甚至高贵的 DSP 也开始有了廉价的开发工具，真正让我们这些穷人也可以玩得起了。我不知道这是不是 PIC 开的一个头，但我的感觉，至少在中国市场上，应该算是这样。

一、开发工具简介

图1所示是微芯公司提供的三种仿真和调试工具，它们的官方报价分别是66、200和500 美元，而本地化生产的一些工具价格会更低一些，如ICD3的本地价格为1600元左右。当然它们的性能并不算很好，因此对于公司开发，微芯还提供了高性能仿真机的方案，但是对于学习阶段的爱好者来说，最廉价的工具也足以应付了。

除了购买仿真器以外，笔者推荐读者采用“软件仿真+写片验证”的方法来学习。这里介绍一个可以自制的编程器——K149系列。这是一位香港的爱好者开发的，支持PIC系列的数百种芯片，当然也包括这里所用到的PIC16F877A芯片，如图2、图3所示。

这些板都基于相同的设计，只是根据需要略作了一些删减。开发者提供了这些制作的原理图、PCB图、上位机编程软件以及一个PIC16F628单片机的HEX文件。整个板上除了需要用到一块PIC16F628芯片外，其他都是常用电子元器件，安装与制作相当简单。在www.kitsrus.com可以找到链接资料。

二、实验电路板及分析

除了这些开发工具以外，还需要制作一块硬件实验电路板。由于PIC单片机有着诸多不同于51单片机的特点，因此，其硬件设计也有所区别。下面，作者就给出一个电路，并且着重对其特点进行分析。

图4所示是一个使用PIC16F877A芯片为例来进行设计的电路图，这块芯片虽然已经很老，但是它具有PIC单片机的一些典型的功能模块，以此为样本分析，较为合适。做好的实验电图板见图5。

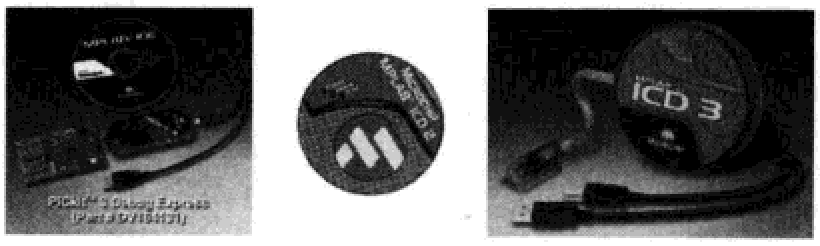


图1 Microchip提供供的开发工具

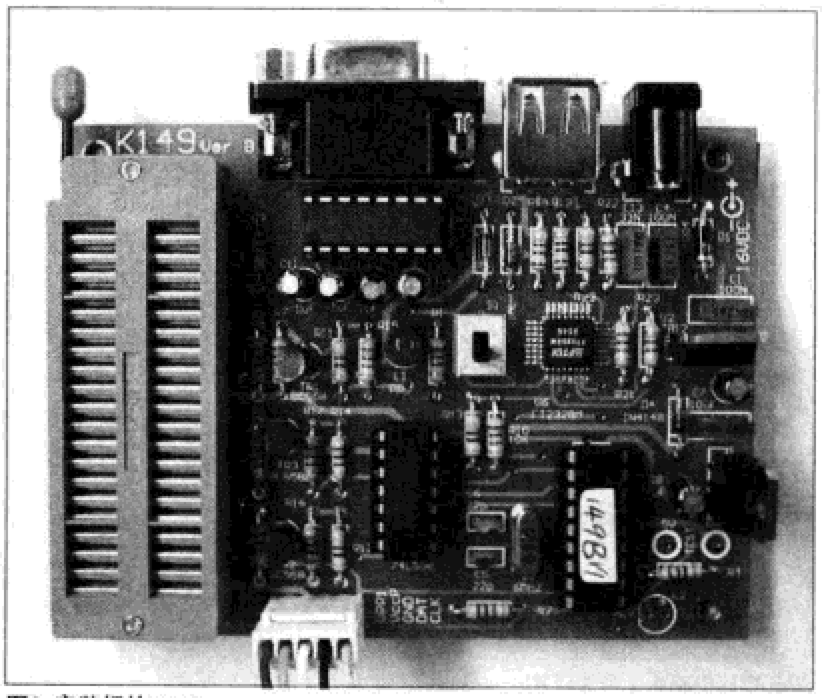
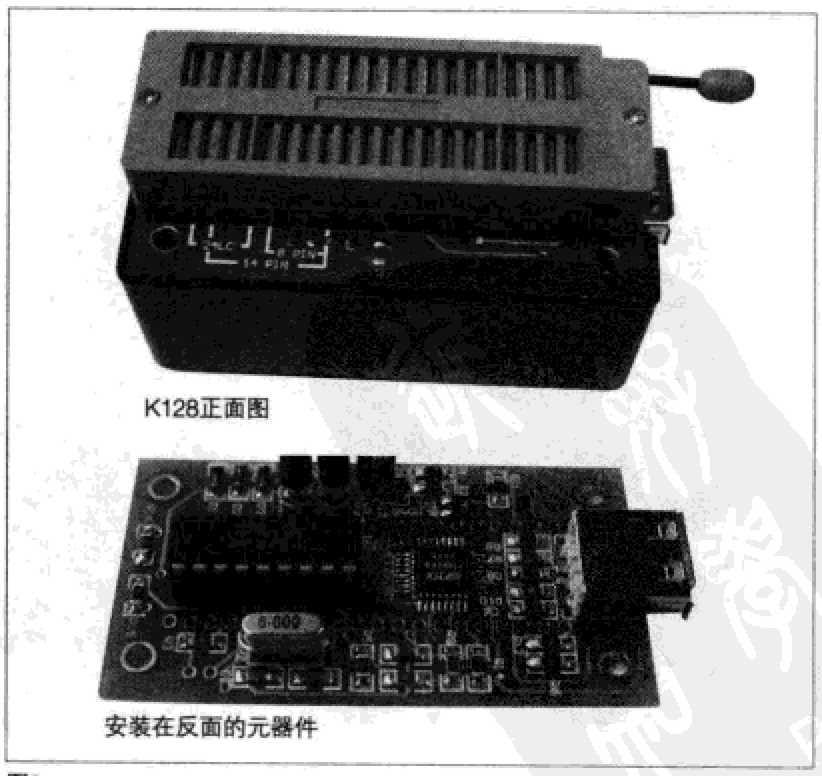


图2 安装好的K149



K128正面图

安装在反面的元器件

图3

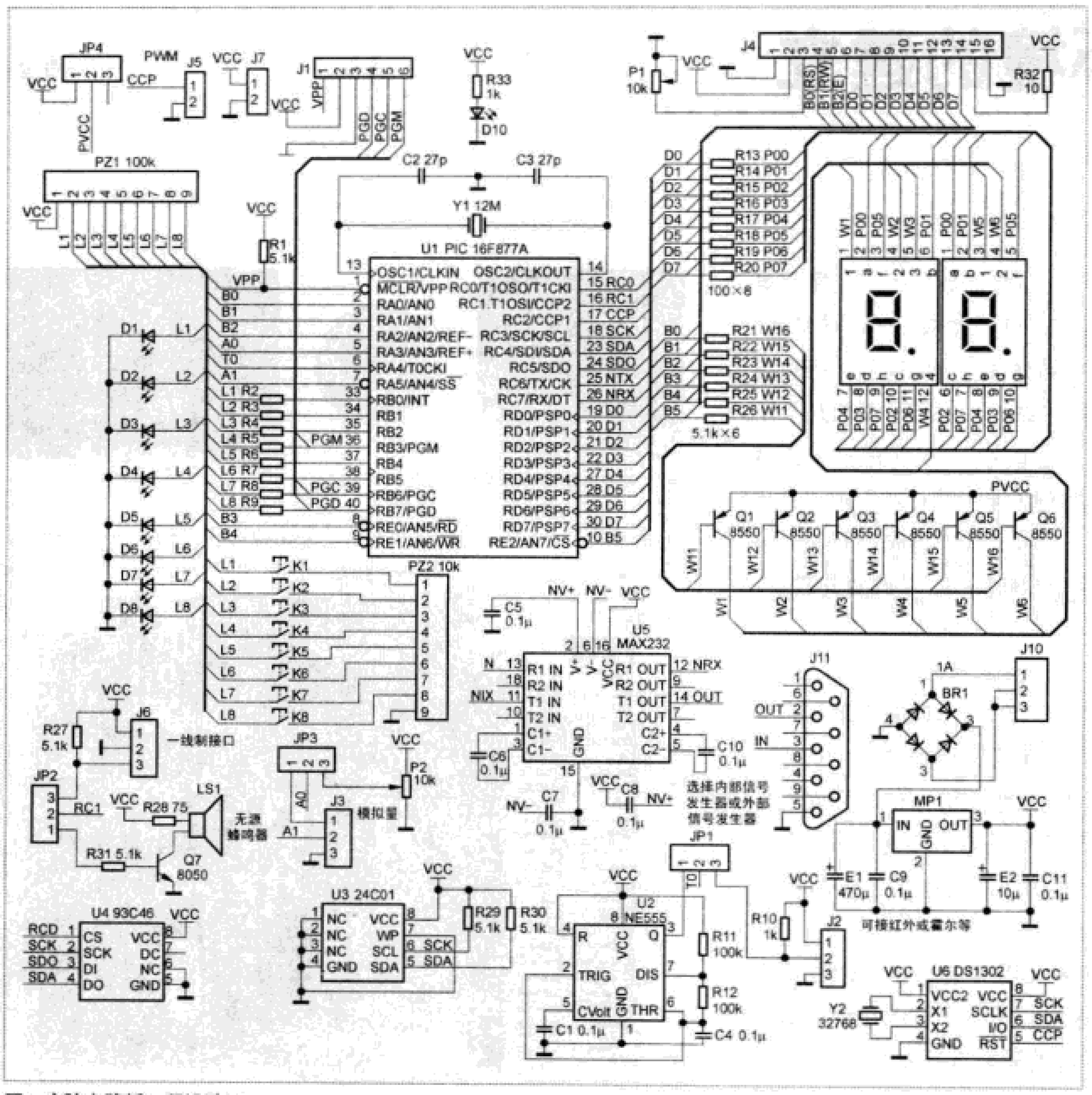


图4 实验电路板工程设计图

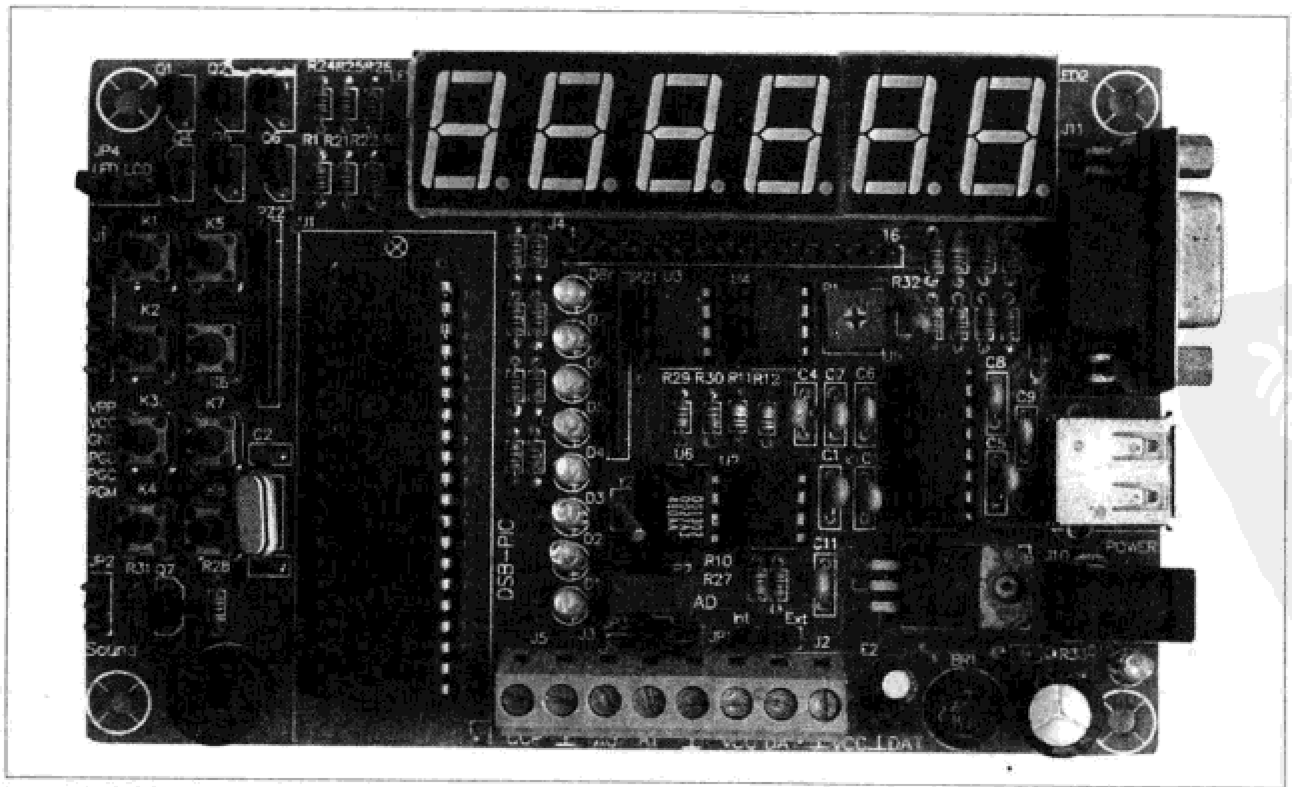


图5 实验电路板实物图

1. 复位电路

PIC单片机的复位电路与51系列单片机不同，它是低电平复位，正常工作时，复位脚（MCLR）应接高电平。从图4可以看到，PIC16F877A的复位脚使用一只5.1kΩ的上拉电阻接到VCC。

复位端是单片机的一个“罩门”，很多问题都出在这里。因此，在广泛使用51单片机的年代，国内对于这个问题的研究曾经充斥了各种专业杂志若干年，随后市场上也出来了各种各样的专用复位芯片，在这个市场上狠捞了一把。然而，对于PIC单片机来说，这是不必要的，它内置了多种复位方式。图6所示的是大部分PIC单片机的内部复位电路。

由图中可知，PIC16F877A的复位信号源有：外部复位（通过MCLR引脚）、上电时复位、电压跌落检测复位（Brown-out Reset），这些都是上电能够可靠复位的保证。工作以后还有WDT（看门狗）复位可以使用。此外，针对上电后振荡器刚开始工作时信号还不太稳定的情况，提供振荡器延时功能，即振荡信号产生后，经过1024次计数，才能允许芯片复位（OST功能）；针对刚上电时电源不稳定的情况提供了上电延时功能，即上电时一个内部的RC振荡电路工作，

其输出脉冲经过1024次计数（约72ms）后，才允许芯片复位（PWRT功能）。了解这些功能，就能够正确地在烧写时配置芯片。

图7所示是K149配套软件的烧写选项，其中与复位有关的选择项有这样一些，WDT是选择是否开启看门狗，BODEN是否开启电压跌落检测，PWRTE则设置是否允许开机后延时一段时间再进入复位。

由于PIC单片机内部已做了各种复位电路，因此外部复位电路就简单了，通常只要接一只上拉电阻和一只对地滤波电容就足够了。在使用ICSP（在线编程、调试）功能时需要用到复位脚，为避免电容对ICSP功能的影响，本实验板上复位脚并没有接上电容，用于实验板这是允许的，用于产品则最好接上该电容，或者按图8所示方式来接复位电路，这样既可以滤除复位脚上的杂波，又不会影响ICSP功能的正常使用。

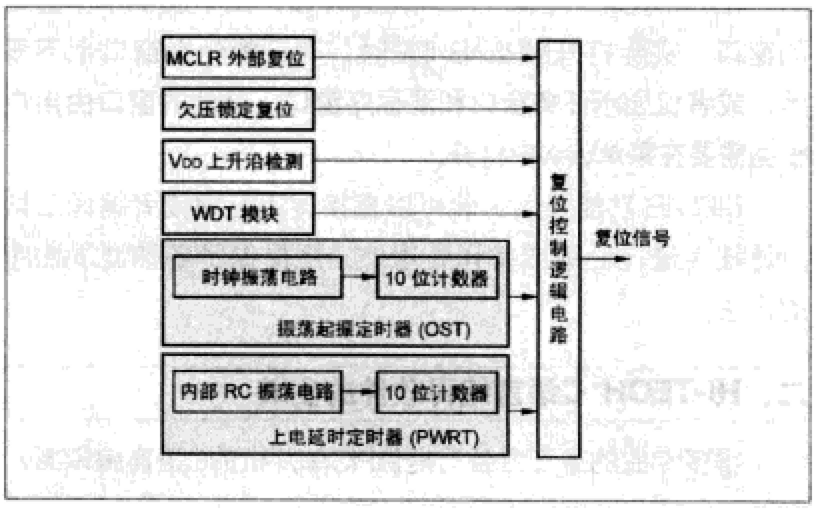


图6 PIC的典型复位电路

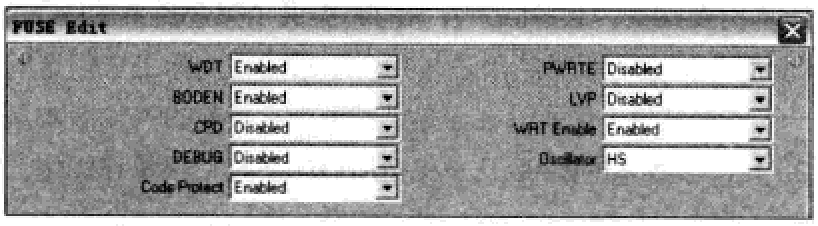


图7 K149的烧写选项

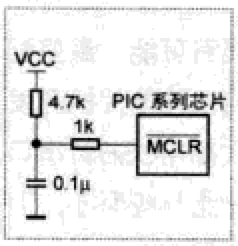


图8 复位引脚的接法

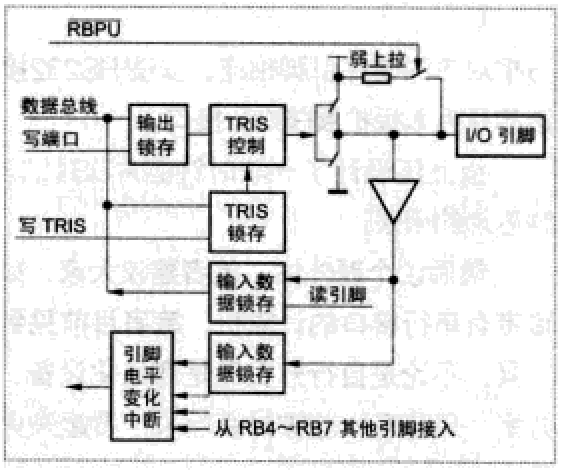


图9 PIC16F877A的RB4～RB7引脚的内部结构

2. PIC单片机的I/O接口电路

PIC单片机的I/O口往往有多种功能，同一芯片上的不同端口的结构也不尽相同，下面以PORTB为例来作个说明，如图9所示是PORB中的RB4~RB7引脚的结构。

由图可见，通过对TRIS寄存器的控制，可以令引脚分别作为输入或者输出来使用。如果使能$\overline{RBPU}$标志，那么可以在I/O口作为输入使用时接入一个作为弱上拉使用的场效应管。如果不使能$\overline{RBPU}$，I/O口作为输入使用时“浮空”除此之外，这4条引脚还具有电平变化引发中断的能力，一旦引脚上有电平的变化，就可以置位RBIF标志，从而可以引发中断。

大部分PIC的引脚既可以作输入又可以作输出使用，因此，PIC单片机设计的一个常用技巧是将同一个I/O口分时复用为输入和输出来使用。如图4所示PORTB就是这么设计的，它既驱动发光二极管L1~L8点亮，又作为输入口接受K1~K8按键的输入。在作为输入使用时，I/O口呈高阻状态，其状态完全取决于外部电路。由于在引脚上接有100kΩ的排阻PZ1，因此，没有键被按下时，引脚的电平为高。按键通过10kΩ的排阻PZ2接地，因此，当某个键被按下时，该引脚上的电平将会变为1/10Vcc，约0.5V，即被当成是低电平，这样，就实现了按键的识别。当然，这必须配合编程来实现，我们将在第三个任务中展示这种编程方法。

将RC1通过短路块可以选择作为讯响信号输出，或者作为一线制接口。作为讯响器输出时，可以发出各种不同频率的声响，甚至用来唱歌。而作为一线制接口时，可以接入DS18B20等芯片，学习一线制接口芯片程序的编写方法。

3. 显示接口电路

PORTD的8个引脚与PORTA及PORTE的各3个引脚构成了6位数码管和液晶显示接口。其中PORTD的8个引脚驱动数码管的8个笔段，而PORTA及PORTE的6个引脚则驱动6只8550三极管作为数码管的位选端。

4. 定时器/ADC/CCP等应用电路

RA4引脚是PIC16F877A片内定时器T0的计数输入端，它通过短路块JP1选择，可以接到板上由555振荡器提供的信号源或者J2端子上。J2端子上可以接红外接收管、霍尔、光电编码器等各种脉冲信号源。

PIC16F877A内置了一个8通道的10位ADC，这里使用了RA3和RA5两个通道，其中一个通道RA5直接连接到J3，另一个通道通过短路块选择，可以是接到J3，也可以是接到由P2提供的电压源上。

软件实验环境的建立

◎周坚

下面介绍怎样建立软件实验环境，即安装Microchip公司提供的MPLAB开发工具和HI-TECH公司提供的C编译器。

一、MPLAB软件的安装与使用

MPLAB IDE是一个运行于计算机上的PIC单片机综合集成开发环境。它把开发过程中用到的各种独立的工具集合为一体，实现PIC单片机的一站式开发。它集成了源程序编辑器，自带汇编语言的编译和连接器，并可支持多种不同的第三方程序语言编译连接工具，内含一个软件模拟器，可用于模拟调试单片机指令运行，可生成丰富的调试信息，直接支持硬件仿真器和调试器对目标系统进行源程序级的调试，直接支持烧写器，实现芯片的编程功能。

图1 进入Microchip中文网站

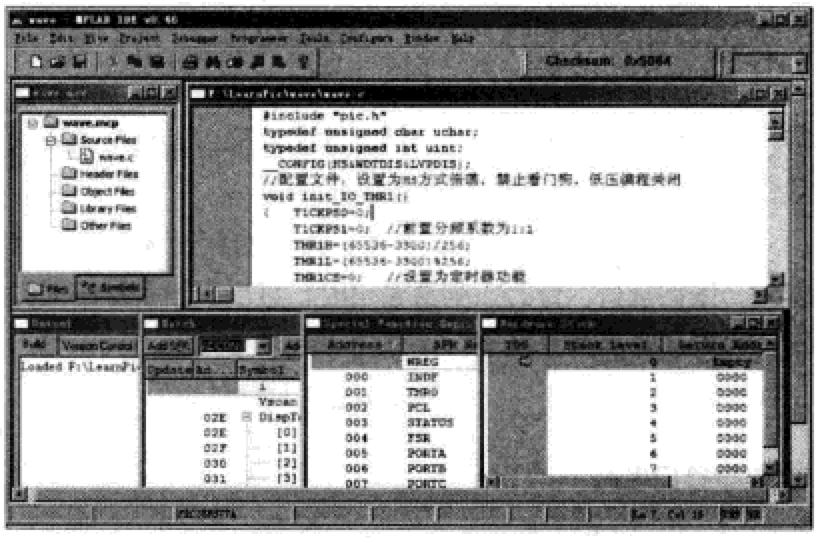


图2 MPLAB IDE的窗口组成

MPLAB-IDE是免费软件，进入www.microchip.com.cn，如图1所示，单击设计一栏中的MPLAB®IDE即可进入下载页面，这里提供MPLAB的最新版本。

图2所示是一个MPLAB-IDE的界面，图中展示了尽量多的窗口，实际打开MPLAB-IDE时，有可能什么窗口也不显示，或者仅显示任务窗口和源程序窗口。其他的窗口由用户根据需要在菜单View中打开。

MPLAB 功能强大，除可以直接调用汇编或者编译工具对源程序进行汇编或编译处理外，还提供了各种调试程序的方法。

二、HI-TECH C语言编译软件的安装

很多专业的第三方公司提供PIC单片机的C语言编译器，例如Hitech、CCS、IAR等公司。其中Hitech公司的PICC编译器稳定可靠，编译生成的代码效率高，使用者众多。其正式版本需要购买，但Hitech公司同时提供了完全免费的PICC-Lite版本。这一版本的用法与完全版相同，实际上它们是同一个安装文件，区别只在于是否被激活。目前的PICC版本是9.71a，该版本的Lite版几乎支持所有的芯片，只是在优化、

CCP功能可以实现信号捕捉、PWM信号生成等功能，在测量、逆变、电机驱动等领域有着广泛的用途，因此，CCP几乎成了各种高档单片机芯片的必备配置，本板将CCP1（第17脚）引到接线端子J5上，一起来体验一下高档单片机的特性。

5. 串行接口应用电路

PIC16F877A内置了I^2C、SPI、USART等串行接口，因此使用相关协议时有更高的效率。板上的U3、U4分别是支持I^2C接口的AT24C01A芯片和支持SPI接口的93C46芯片，分别与相对应的硬件引脚相连。U5是RS232接口芯片HIN232，用该芯片为本板扩展RS232接口。

板上还设计了一块时钟芯片DS1302，可以用来学习时钟芯片的用法。

最后说个题外话，笔者建议大家，如果有可能，最好配置带有串行接口的计算机。笔者目前见到的各种单片机开发工具，不论是自行开发还是商品化设备，大都用USB转串口方案，只是有一些被封装起来，看起来更专业一些而已。而USB转串口无论怎样都不如硬件串口使用舒服，使用中或多或少总会遇到一些问题。

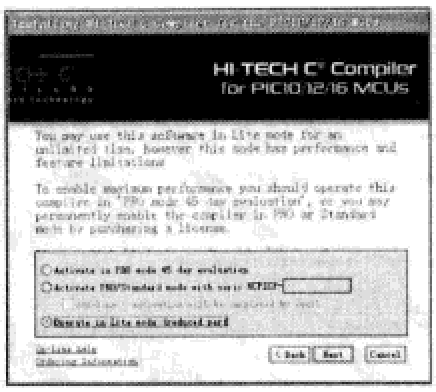


图3 选择哪一种安装模式

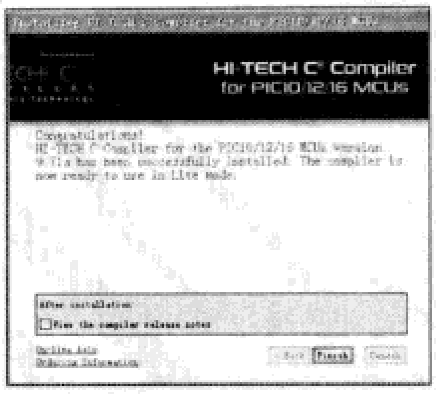


图4 安装完成

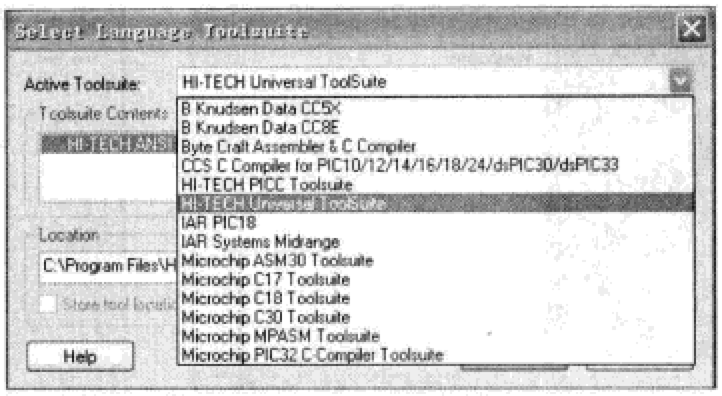


图5 打开MPLB的Set Language Toolsuite对话框

函数使用等一些细节上稍有区别。可以通过microchip.htsoft.com/portal/pic_pro页面来了解各种限制，并可以通过这个页面下方的链接来下载PICC编译软件。

下载后安装时，在图3所示界面选择Lite Mode即可安装Lite版本。当然，你也可以选择有45天限制的Pro版本，以完整体验PICC的强大功能。不过，我认为在学习阶段Lite版已足以使用了。

PICC编译器可以直接挂接在MPLAB-IDE集成开发平台下，实现一体化的编译链接和源代码调试。使用调试工具如ICE2000、ICD2和MPLAB-IDE内嵌软件模拟器都可以实现源代码级的调试，非常方便。

安装完成PICC编译器后，开启MPLAB-IDE，点击Project→Set Language Tool Locations，打开对话框，如图5所示。

选择HI-TECH Universal ToolSuite项，即可使用这一编译器。工具挂接完成后，在建立项目时可以选择语言工具为HT-TECH PICC，具体的步骤通过下一节的例子来进行说明。

三、用PIC单片机控制一个LED

接下来要完成的第1个任务，是用PIC16F877A芯片来控制一个LED，并让这个LED按要求点亮或熄灭。

图6所示为控制一个LED的电路原理图，先来分析一下单片机的引脚。

1. PIC16F877A芯片的外部引脚

双列直插封装的PIC16F877A单片机共有40条引脚。

电源：PIC16F877单片机使用5V电源，其中第11脚、第32脚均接Vcc，第12脚和第31脚接地。

振荡电路：PIC16F877A芯片可以在以下4种不同类型的振荡方式下工作，用户可以通对配置寄存器中的振荡选择位FOSC1和FOSC0进行编程，选择其中的一种工作方式：

（1）LP 方式：低功耗晶体振荡器方式；

（2）XT 方式：晶体 / 陶瓷谐振器方式；

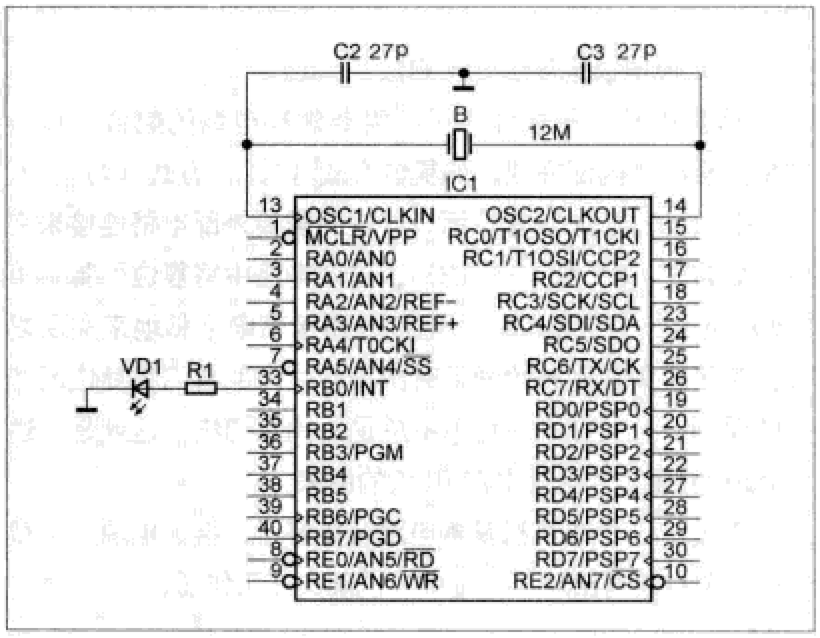


图6 使用PIC16F877A控制一个LED

（3）HS 方式：高速晶体 / 陶瓷谐振器方式；

（4）RC 方式：阻容振荡器方式。

本电路使用外接1只12MHz的高频晶体振荡器，跨接于第13和第14脚，13和14脚对地接2只小电容，电容的值可在18～47pF之间选取，一般可以使用27pF的小磁片电容。按图接好以后，在将程序烧写入芯片时选择HS方式，这可以通过程序烧写时对烧写工具进行手工设定，而PIC系列开发工具更提供一种在源程序中配置的方法，即通过下面的程序进行：

__CONFIG（HS&WDTDIS&LVPDIS）；

其中HS即代表采用HS振荡方式。配置文件被编译并写入HEX文件中，烧写器软件在打开这个HEX文件时，同时获得如何配置芯片的信息并自动配置，避免了手工配置时的疏忽，是PIC开发工具一个值得称道的设计。

复位：PIC16F877A芯片有以下几种不同的复位方式：

（1）芯片上电复位（POR）；

（2）正常工作状态下在 $\overline{\text{MCLR}}$ 引脚上加低电平复位；

（3）休眠状态下在 $\overline{\text{MCLR}}$ 引脚上加低电平复位，

（4）正常工作状态下监视定时器 WDT 超时溢出复位；

（5）休眠状态下监视定时器 WDT 超时溢出复位，

图7 建立工程向导

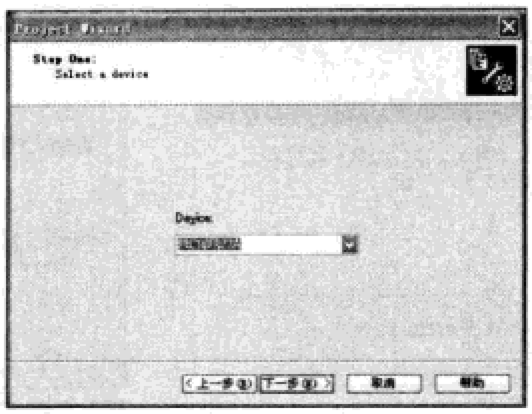


图8 选择所使用的芯片

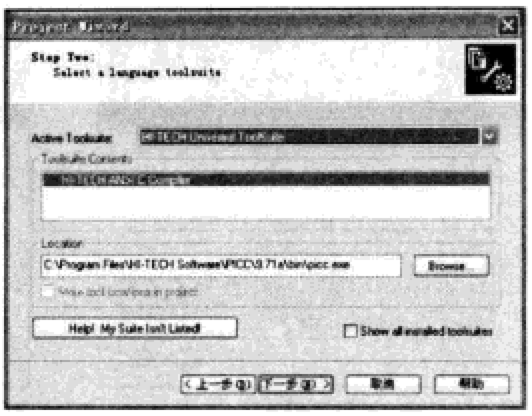


图9 选择语言工具为HI-TECH PICC Toolsuite

（6）掉电锁定复位（BOR）。

这其中有一些复位方式不需要外部电路的配合，直接在单片机芯片内部完成，如复位方式（1）、方式（4）、方式（5）、方式（6）等，而有一些则需要外部电路连接来完成，如方式（2）和方式（3）。这个电路中将复位引脚（第1脚）通过一个电阻和一个电容分别接高电平和地来实现复位。为了避免在刚开始学习时由于芯片内部看门狗复位而造成的误判，一般在学习程序中总是关掉看门狗，这就是上述CONFIG配置文件括号中WDTDIS的由来。

至此，一个单片机基本电路就接好了，接上电源，虽然什么现象也没有出现，但是单片机确实在工作了。

2. 任务分析

按图6的接法，要点亮VD1，第33脚必须为高电平“1”，通过限流电阻R1向VD1供电，使VD1发光。

按图所示，第33脚标示为RB0，让这个引脚变为高电平的程序见程序1。

程序分析：PIC单片机的引脚通常都是复用的，即同一引脚具有多种功能，其中数字输入/输出是其基本功能，除了极个别的引脚外，几乎所有的引脚都是既能作为输出使用，又可以作为输入使用。但通常这两种用途不能同时实现，需要对其设置才可分时使用。

对于PORTB，TRISB是其方向控制寄存器，这是一个8位的寄存器，其每一位与端口引脚的每一位对应，例如TRISB的 D0位与PORTB的最低位RB0对应，当D0清0时（记忆时可记作Out的首字符O），RB0作为输出来使用，而当D0置1时（记忆时可记作In的首字符I），RB0作为输入来使用。这段程序中有 TRISB=0； 这样的一行程序，将TRISB的所有位均置0，这样，PORTB的8个引脚均作为输出来使用。

在设置了RB0引脚作为输出以后，只要将该位置1，接在该位上的LED就应该被点亮了。程序中有PORTB=0x01，这样的一行程序，就是将PORTB的第0位（即RB0）置1，因此，执行完这一行程序后，接在RB0上的LED被点亮。

下面，我们就一步一步地学习如何在MPLAB-IDE中输入这段源程序并将其编译、连接通过。

运行MPLAB IDE，单击Project→Project Wizard…，打开Project Wizard窗口中，如图7所示。

单击下一步，要求选择项目所用器件，如图8所示。单击Device右侧的下拉列表，可以查看各种型号的器件名称，这里选择PIC16F877A芯片。这个选择将会作为MPLAB的环境变量被保存，在编译程序时，根据这一变量名选择pic.h文件中相应的头文件。

单击下一步，要求选择语言工具，如图9所示。这里既可以使用Micriochip公司的汇编语言工具，也可以使用各种其他第三方工具。单击Active Toolsuite右侧的下拉列表按钮，可以查看当前可用的工具列表，一旦选中了某种工具，在Toolsuite Contents列表框中会显示出该工具的细节，如编译器程序，连接器程序，库管理器程序等。如果发现细节与实际情况不符，可以单击细节中的某一行，该行内容即出现在Location文本框中，可以手动修改以符合该软件的要求，也可以单击Browse以查找符合要求的可执行程序名。在本项目中选择HI-TECH的C编译器，细节部分不需要任何修改。

选择好语言工具后，单击下一步，进入创建工程名对话

程序1

```
#include “pic.h”
__CONFIG（HS&WDTDIS&LVPDIS），
//配置文件，设置为HS方式振荡，禁止看门狗，低压
编程关闭
void main（）
{   TRISB=0xfe，           //PORTB.0设置为输出
    PORTB=0x01，           //点亮LED1
    for（；；）{；}
}
```

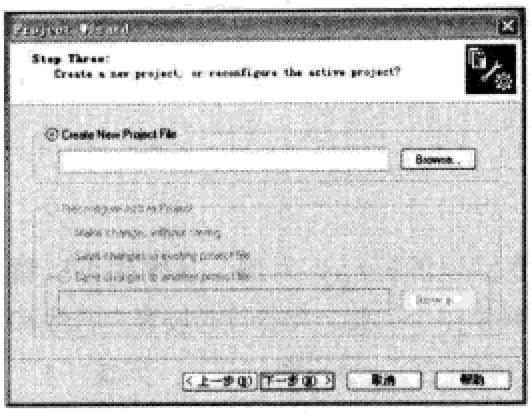


图10 创建一个新的工程文件

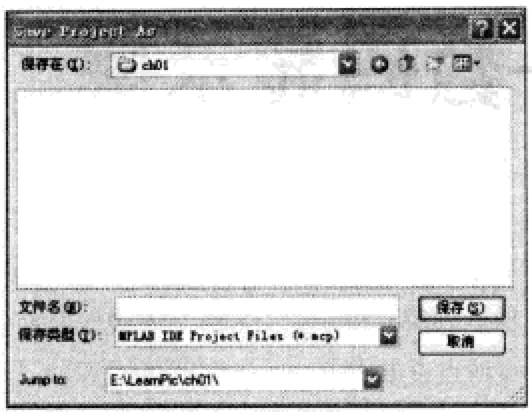


图11 保存工程文件

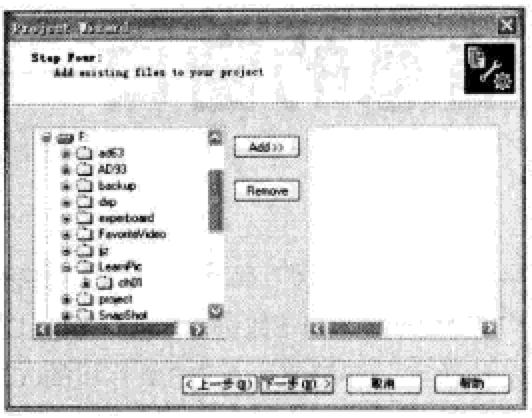


图12 将已有文件加入工程

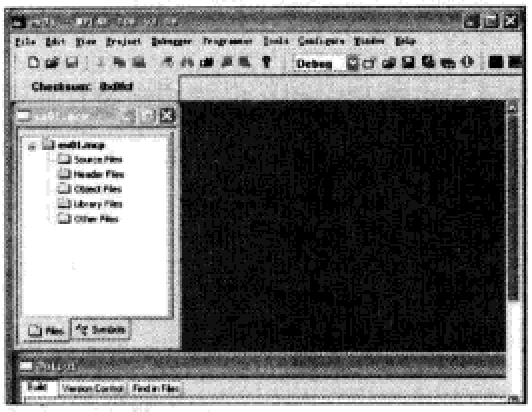


图13 建好工程后回到主界面

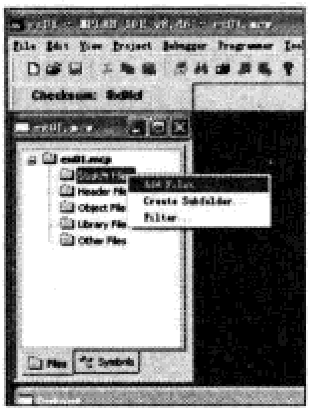


图14 向工程中增加文件

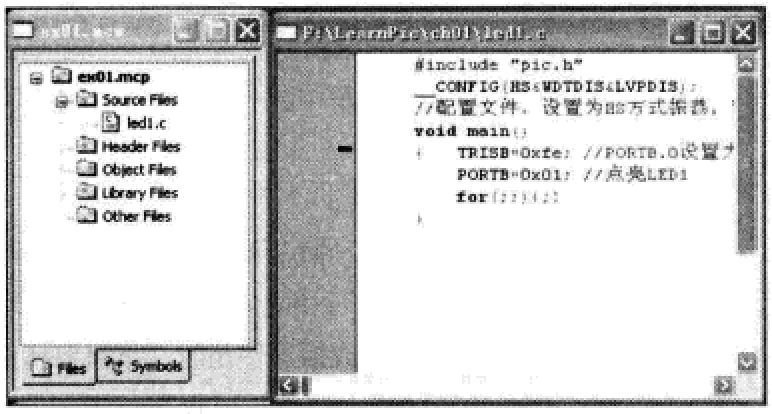


图15 将源程序加入项目中

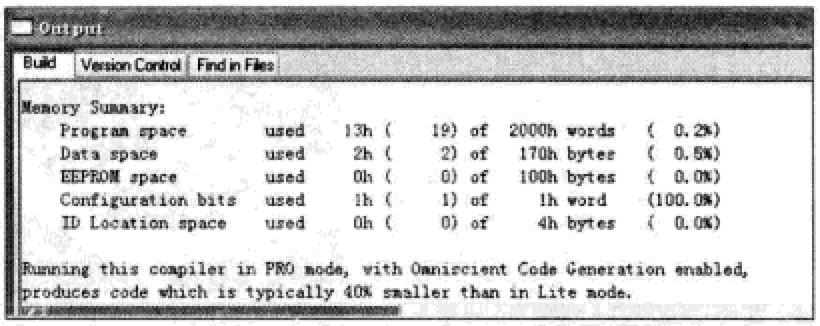


图16 编译、连接完成的结果

框，如图10所示。

单击图10中的Browse...按钮，打开“Save Project As”对话框，要求选择工程名及保存位置，如图11所示。这里作者是将所有的工程文件建立在f:\LearnPic\文件夹中，并为每一个工程再单独建立一个文件夹，本例是建在f:\LearnPic\ch01文件夹中，这样比较合理。

单击保存后，会出现增加文件的对话框，如图12所示。如果已有一些源程序代码编写好了，可以在这里将它们加入工程。

如果不希望在此加入文件，可以直接单击下一步进入最后一步显示摘要，这里会显示这一工程的摘要情况，包括所选择的器件，选用的语言工具，工程文件名等。如果确认没有问题，可单击完成按钮建立工程，否则可以单击“上一步”按钮，一步一步退回并更改相应内容。

建立好工程后，回到MPLAB的主界面，如图13所示。如果并没有显示出如图所示的ex01.mcw工程窗口，可以单击菜单view→Project以打开该窗口。这里显示该工程是一个空白的工程，没有包含任何文件在内。

单击菜单File→New可以打开一个空白窗口，并在此窗口输入源程序，输入完成后单击保存按钮，给这个源程序起名保存，起名时必须要根据编写的源程序性质确定其扩展名，这里编写的是一个C语言源程序，因此，要用.C为其扩展名，给该文件起名为led1.c，注意一定不要使用中文作为文件名。

编写完源程序后，必须将该源程序加入工程中，右击工程窗口的Source Files出现快捷菜单，如图14所示，选择其中的Add files...，即出现如图15所示的对话框，选择led1.c，单击打开按钮，即可将该文件加入工程中。

文件加入完毕后，单击菜单Project→Build All或按Ctrl+F10功能键，即可对工程中的源程序进行编译，编译的结果如图16所示。

至此，这个程序已建立完毕，并汇编、连接通过，生成了名为led.cof的目标代码文件，该文件可以供调试器调用以进行源程序级的调试。同时还生成了名为led.hex的目标文件，将led.hex文件写入芯片中，即可验证LED是否被点亮。

信息的窗口——数码显示屏

◎周 坚

本文通过2个8×8LED点阵显示模块（以下简称点阵块）组成的16×8数码点阵显示屏（以下简称点阵屏）显示各种数字、字符来学习PIC单片机的I/O口结构特点及其使用方法，图1所示是用这个点阵屏来显示3456的示意效果。

一、使用PIC单片机实现流水灯

为熟悉PIC单片机I/O口的结构，我们先从一个简单的例子开始：用PIC单片机控制点阵屏中的一些LED做个流水灯。

1. PIC单片机的I/O口

任何单片机都带有用于信号输入和输出的引脚，不同类型的单片机其引脚的结构也各不相同。80C51单片机一般是准双向I/O口结构，在作为输入或输出使用时，不需要特别的设置。PIC单片机的I/O口结构比51单片机复杂一些，一个典型的I/O口既可以设置为数字信号输出，又可以作为数字信号输入，是一个标准的双向端口，在使用时需要先设定好其工作方向。

PIC单片机的I/O口作为输出时，可以提供很强的负载驱动能力，高电平输出时的拉电流和低电平输出时的灌入电流都可以达到25mA，作为输入时，端口呈现极高的输入阻抗，由端口引入的输入漏电流不超过1μA，对输入的信号来说此端口基本可视为开路或浮空状态。每一个端口都有TRISx寄存器和PORTx（x的值可以是A、B、C等端口名字），其中TRISx就是端口方向设置寄存器，它的各个位分别与引脚对应。将TRISx的各个位分别设置为1和0，可以令对应的引脚作为输入或者输出来使用。

值得一提的是PIC单片机的所有I/O引脚在出现任何条件的复位后，将自动回到高阻抗输入状态（TRISx寄存器内数据位为1），这意味着给引脚接上拉或下拉电阻即可获得确定的高/低电平。如果用单片机来控制机器设备，这一点是非常关键的。

2. 点阵块的结构

所谓LED点阵，一般是指由多个LED等间距构成的一种模块，图2所示是某8×8点阵块的外形图。

这种点阵块内部一般有两种接法，如图3（a）和图3（b）所示。以图3（a）为例，从图中可以看到，该模块共有8行8列共16个引脚，每个LED放置在行线和列线的交叉点上，共64个LED。当行置“0”、列置“1”时，该列与该行交叉点上的LED被点亮。而图3（b）所示电路则正好相反，当行置“1”、列置“0”时交叉点上的LED被点亮。为讲解统一，以下均以图3（a）所示电路图为例来说明。

如果将列1引脚13置为高电平，那么只要控制第1~8行LED的阴极，就能让LED按要求点亮，下面我们就以此电路为例来制作一个键控流水灯。

3. 流水灯的实现

图4是实现流水灯的电路原理图。图中IC1使用PIC16F877A，点阵块的型号是SD411988，J1是编程和调试插座。端口RD通过8只限流电阻连接点阵块的行，而PORTB和PORTC分别接2个点阵块的列。S1～S4是4个按键，PZ1和PZ2分别是100kΩ和10kΩ的排阻，这是利用PIC单片机的特

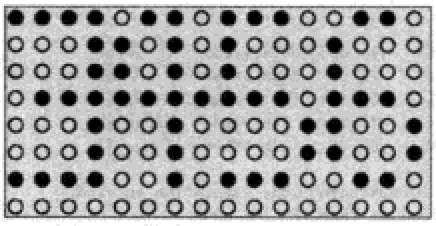


图1 用16×8点阵显示3456

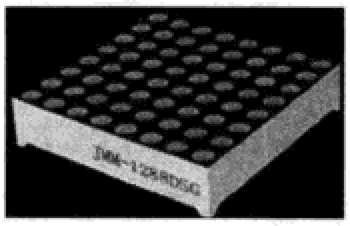


图2 8×8LED点阵显示模块外形图

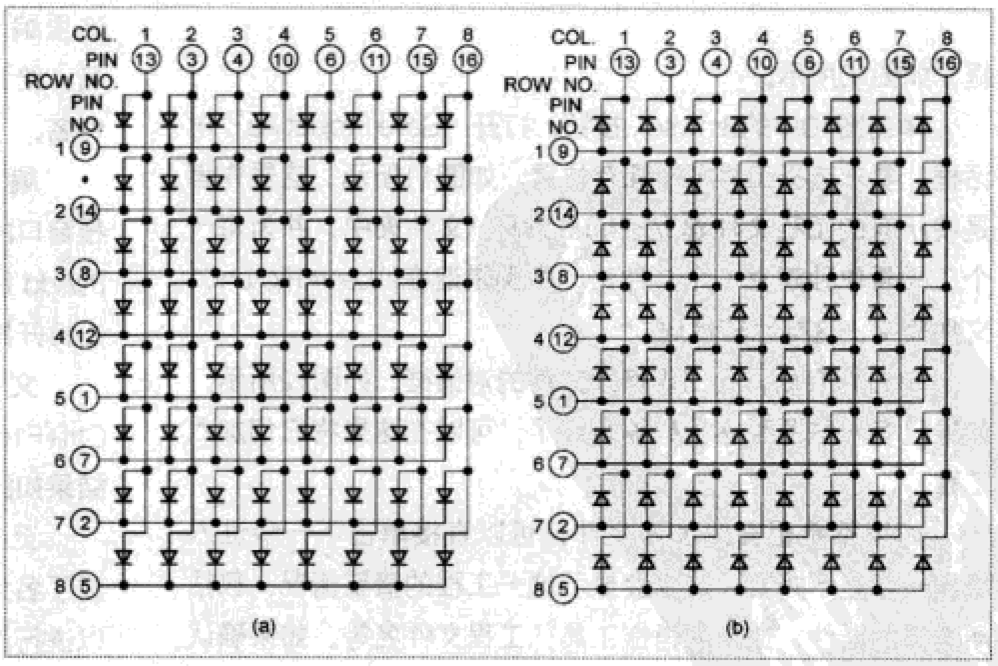


图3 8×8LED点阵显示器的电路连接图

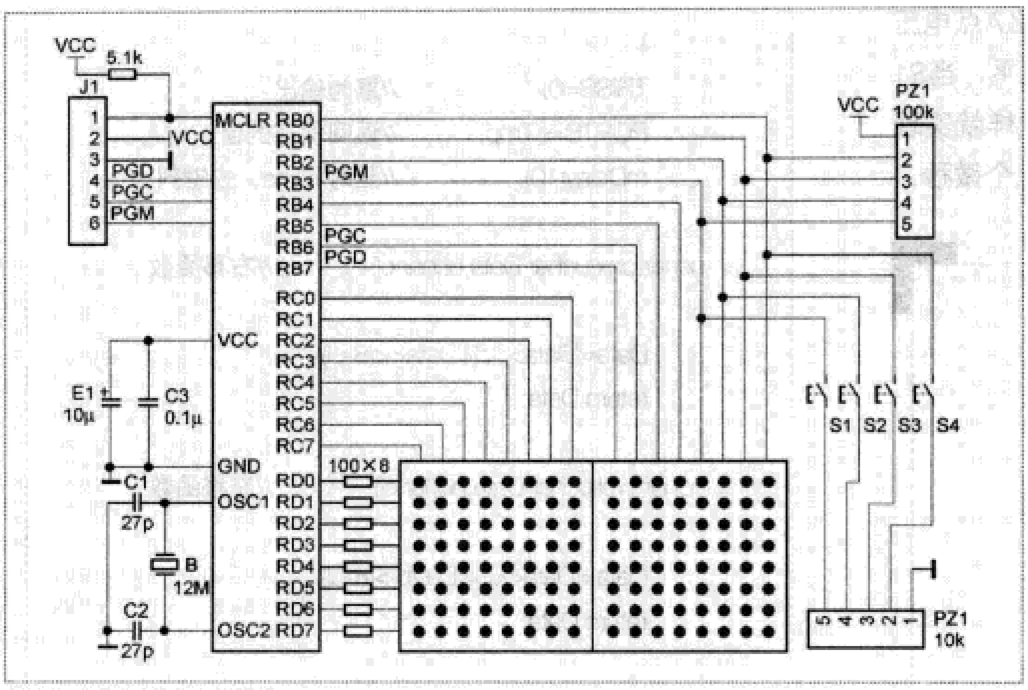


图4 PIC单片机驱动点阵块

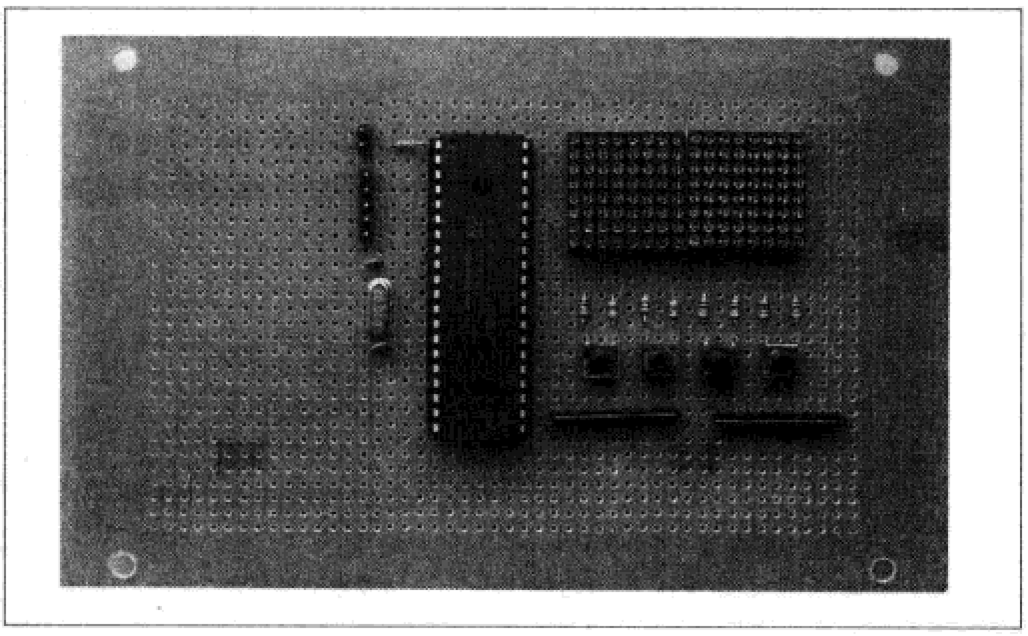


图5 在万能板上制作的数码点阵显示屏

程序1 流水灯

```
#include "pic.h"
typedef unsigned char uchar;
typedef unsigned int uint;
__CONFIG(HS&WDTDIS&LVPDIS);
//配置文件，设置为HS方式振荡，禁止看门
狗，低压编程关闭
void mDelay(unsigned int DelayTime)
{       unsigned int j=0;
        for(;DelayTime>0;DelayTime--)
        {       for(j=0;j<272;j++)
                    {;}
        }
}
void main()
{       uchar VOutDat=0xfe;
        uchar HOutDat=0x01;
        TRISD=0;
        //PORTD设为输出
        TRISB=0;
        //PORTB设为输出
        while(1)
        {       PORTD=VOutDat;
                //将数据送到PORTD端口
                PORTB=HOutDat;
                mDelay(1000);//延时1000毫秒
                VOutDat= (VOutDat<<1)|(VOutDat>>7);
                //左移，为下一次显示作准备
                HOutDat=(HoutDat<<1)|(HoutDat>>7);
        }
}
```

点，使用同一I/O口分时作为输入和输出使用而连接的键盘，用于下一个任务。其余元器件直接按图上标注参数来选择。

图5所示是使用万能板制作的实物。

【程序实现】建立名为message1的工程，选择PIC16F877A作为控制芯片。输入程序1所列的流水灯程序，并命名为messag1.c，将此文件加入工程，编译链接通后，将messag1.hex写入芯片，通电即可看到流水效果沿着对角线显示。

【程序分析】main函数中将PORTD和PORTB均设置为输出端口，然后进入一个循环。在这个循环中首先将变量VoutDat的值送到PORTD端口，该值为0xfe，参考图3（a）可知，其中接于RD0的一行可以被点亮，至于该行的哪些LED被点亮，则取决于PORTB的值。变量HoutDat的值被送到PORTB，该值是0x01，即此时RB0所接列上的LED将会被点亮，综上所述，将是左上角（第1行、第8列）LED被点亮。经过一段时间延时后，变量VoutDat和HoutDat均左移一位，其值分别变为：0xfd（1111 1101）和0x02（0000 0010），这样将会令第2行、第7列的LED被点亮，依此类推，光点沿对角线流动。

二、键控流水灯的实现

要使用按键，就是要将I/O引脚作为输入引脚来使用。在80C51单片机中，通常某一个引脚只能作为输入或者输出来使用，但是PIC单片机有所不同，在一定条件下它可以实现分时复用，如用在显示时就可以这么做。如图2所示是引脚分时作为输入/输出复用的硬件连线方式。

以RB0为例来进行分析，平时RB0作为输出引脚来用，当需要按键检测时，把RB0改为输入模式，此时RB0引脚处

于高阻状态。当按下S1时PZ2（10kΩ）接地，那么A点电压为PZ1和PZ2的分压，约为1/10Vcc，被认为是低电平，当S1未按下时A点电压约为Vcc，被认为是高电平，这样就实现了按键的检测。由于按键检测时间很短，约只需几个微秒，

程序2 键控流水灯

```
#include "pic.h"
typedef unsigned char uchar;
typedef unsigned int uint;
__CONFIG(HS&WDTDIS&LVPDIS);        //配置文件
bit   UpDown=0;              //上下流动标志
bit   StartEnd=0;            //起动及停止标志
void mDelay(uint DelayTime)
{     …}
void uDelay(uchar DelayTime)//短暂延时程序
{
      for(;DelayTime>0;DelayTime--);
}
void KProce(uchar KValue)   //键值处理
{
      if((KValue&0x01)==0)
            StartEnd=1;
      if((KValue&0x02)==0)
            StartEnd=0;
      if((KValue&0x4)==0)
            UpDown=1;
      if((KValue&0x8)==0)
            UpDown=0;
}
uchar KValue=0;              //外部变量，传递键值
void  Key()
{
      static uchar KeyP;     //静态变理，有键按下标志
      uchar cTmp;
      cTmp=PORTB;            //暂存PORTB值
      TRISB=0xff;            //将PORTB置为输入
      uDelay(10);            //短暂延时
      KValue=PORTB;          //读取PORTB的值
      if(KValue==0xff)       //均为1，无键按下
      {
            Kvalue=0;
            KeyP=0;          //清有键按下标志
      }
      else
      {     if(KeyP!=0x55)   //第一次按下
            KeyP=0x55;       //设定标志
            else             //否则已非第一次按下
            KValue=PORTB; //读取键值
      }
      TRISB=0;               //置为输出
      PORTB=cTmp;            //返回保存的值
      mDelay(10);            //延时10ms，去键抖
}
uchar cror(uchar Data,uchar cl)        //右移函数
{
      Data=(Data>>cl)|(Data<<(8-cl));
      return Data;
}
uchar crol(uchar Data,uchar cl)        //左移函数
{
      Data=(Data<<cl)|(Data>>(8-cl));
      return Data;
}
void main()
{
      uchar LampCode;       //存放流动的数据代码
      TRISB=0;              //PORTB作为输出使用
      TRISD=0;              //PORTD作为输出来使用
      PORTD=0;              //一列中所有LED均允许点亮
      LampCode=0x01;
      for(;;)
      {
            Key();          //调用键盘程序
            if(KValue)      //如果该值不等于0
            {
                  KProce(KValue);//调用键盘处理程序
            }
            if(StartEnd)    //要求流动显示
            {
                  PORTB=LampCode;
                  if(UpDown) //要求由上向下
                  {
                        LampCode=cror(LampCode,1);
                  }
                  else       //否则要求由下向上
                  {
                        LampCode=crol(LampCode,1);
                  }
                  mDelay(500);
            }
            else  //关闭所有显示
            {
                  PORTB=0x0;
            }
      }
}
```

程序3 显示字符

```
#include "pic.h"
typedef unsigned char uchar;
typedef unsigned int uint;
__CONFIG(HS&WDTDIS&LVPDIS);
void mDelay(uint DelayTime)
{
    uint temp;
    for(;DelayTime>0;DelayTime--)
    {
        for(temp=0;temp<270;temp++)
        {;}
    }
}
uchar cror(uchar Data,uchar cl)
{
    Data=(Data>>cl)|(Data<<(8-cl));
    return Data;
}
uchar Code[]={0xbe,0xb6,0xb6,0x80, 0xf1,0xf6,0x80,0xf7,
0xb0,0xb6,0xb6,0xcf, 0xc1,0xb6,0xb6,0xcf};//字形码
void main()
{
    uchar i;
    uchar Vscan=0x80;
    TRISB=0;  //PORTB作为输出使用
    TRISC=0;  //PORTC作为输出使用
    TRISD=0;  //PORTD作为输出来使用
    for(;;)
    {
        for(i=0;i<16;i++)
        {
            PORTD=0xff;
            if(i>=8)
            {    PORTB=Vscan;PORTC=0;}
            else
            {    PORTC=Vscan;PORTB=0;}
            PORTD=Code[i];
            mDelay(1);
            Vscan=cror(Vscan,1);
        }
    }
}
```

因此，即便此时LED正被点亮，中间少亮几个微秒人眼根本看不出来。PZ2的作用是隔离输入输出，即如果S1一直被按着，由于其值远小于PZ1，所以不会对LED的发光状态造成影响。

【程序分析】 Key（）函数是读取键值的函数，进入该函数后，读取PORTB端口的值并保存于变量cTmp，因为返回时必须返回其原来的值，否则会造成混乱。经过短暂延时后，读取PORTB的值，如果无键按下，则其值为0xff，清键值及标志。有键按下时判断是否是第一次检测到，如果是则设定标志KeyP，并且不读键值，否则读键值。做完这些工作后，即将PORTB仍置为输出，并将保存于cTmp的值回存于PORTB，以免干扰PORTB的输出。

三、用LED点阵显示屏显示字符

我们使用LED点阵显示屏，常用它来显示图案，为点亮这32个LED中的任意一点，可以有两种方案。一种方案是以行引脚作为扫描线输入，使其轮流出现低电平，列的8个引脚正好由单片机的一个I/O口来驱动，当列的8个引脚依次轮流变为高电平时，驱动行引脚的I/O产生相应的引脚电平变化。要点亮某一个LED，该LED的行引脚必须为高电平“1”。这8条引脚的状态正好由1个字节来描述，我们称之为“字模”。当第1列所需点亮的LED确定后，即确定第2列所需点亮的LED，即当第2条行扫描线（14）脚为高电平时，确定由列引脚送出的“字模”。其余各列LED点亮的状况可以依此类推，为将一块显示器各点的状态都表达出来，共需要8个字节的“字模”。

第二种方案是从行线输入字模，而列线作为扫描线输入，即列引脚在任一时刻都只有1个脚为高电平，其余引脚均为低电平。当列引脚依次轮流变为低电平时，行引脚输入相应的字形码，这里使用这种方法在2个点阵屏上显示“3，4，5，6”字符。下面来看一看字形码如何生成。

观察图1及图2可知，当RD0为“0”时，顶行可被点亮，而RD7为0时底行可被点亮。这样，要显示字符3的第一列时，应向PORTD送出1011 1110B，即0xBE。按此原理，可以依次写出显示待显示列的字形码

0xbe,0xb6,0xb6,0x80, 0xf1,0xf6,0x80,0xf7,
0xb0,0xb6,0xb6,0xcf, 0xc1,0xb6,0xb6,0xcf;

获得字形码后，不难写出显示程序。

【程序分析】 本段程序主要是让读者了解“字形码”生成的原理，在生成了字形码后，显示出来比较简单，这里就不再细叙了，请读者通过前面的讲解及阅读程序来了解显示过程。知道了“字形码”的原理，在更多的点阵模块上显示汉字或者图形也就容易得多了。

◎刘永涛　尤文强

太阳能路灯的搭档——智能高效充电控制器

由于全球性能源危机，世界普遍重视可再生能源的利用与研究。太阳能作为一种新兴的绿色能源，以其永不枯竭、无污染等优点，正在得到迅速的推广应用。

太阳能路灯因为具有不用专人管理和控制，一次性安装投资无需日后电费开支，无需架设输电线路或挖沟铺设电缆，可以方便安装在广场、校园、公园以及不便于架设输电线路的地方等优点而越来越受到重视。太阳能路灯与普通路灯不同，它采用太阳能电池作为唯一的供电电源，因为目前太阳电池组件的成本较高，需要设计出好的控制器以提高太阳能的利用率和整套设备的使用寿命。

一般太阳能电池输出电压不够稳定，因此不能直接将太阳能电池应用于负载，需要将其转变为电能后存储到蓄电池中，在需要的时候由蓄电池提供能量。这样控制器就需要具备对蓄电池的高效充电和延长蓄电池的使用寿命的功能。同时还要控制蓄电池对负载的供电，保护蓄电池和负载，避免发生过放电现象。由此可见，控制器在整套系统中具有举足轻重的作用。

现有的太阳能路灯照明系统存在充电效率较低、成本较高的缺点。人们就对太阳能照明系统提出了提高效率、降低成本的要求。为了应对这种需求，笔者设计并制作了一种实用的太阳能路灯控制器，采用STC 单片机对太阳能路灯系统进行控制。

一、系统说明

本控制器专为太阳能直流供电系统、太阳能直流路灯系统设计。采用一键式操作，完成所有设置。具有短路、过载、独特的防反接保护，过充、过放自动关断、恢复等保护措施，详细的充电指示、蓄电池状态、负载及各种故障指示。本控制器通过单片机对蓄电池的端电压、放电电流等参数进行采样，实现符合蓄电池特性的充放电操作，并采用PWM充放电模式，保证了蓄电池工作在较理想的状态，大大延长了蓄电池的使用寿命。具体实现功能如下。

1. 使用了单片机和专用软件，实现了智能控制。

2. 三种工作模式可选择：纯光控，光控+定时，手动。

3. 具有蓄电池过充、过放、及太阳能电池防反接、蓄电池防反接、过载、负载短路等保护功能，而且保护动作不损坏任何元器件。

4. 充电采用PWM控制的新三阶段充电方式：快充-浮充-涓流充。

5. 可编程定时控制，定时时间准确，时间可以从0～12小时，以1小时间隔设置。

6. 系统采用一键式操作，通过数码管显示内容来指示控制器工作模式。

7. 智能微调：根据当地日落的早晚、当天阴雨天或晴天实际亮度的不同，每天自动微调修正开灯的时间。

8. 防止干扰：照度达标半分钟后

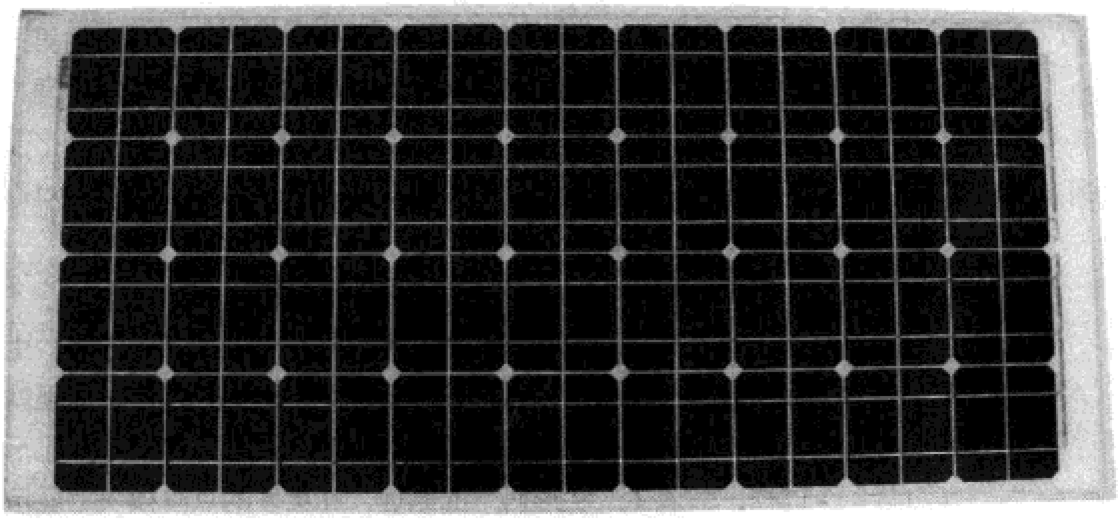


图1 单晶硅太阳能电池板

才能改变开关状态，可防止闪电、车灯等瞬间强光造成的干扰。

9. 发光管直观的指示当前蓄电池、太阳板、负载状态。

10. 保护措施：过载、短路保护。短路采用智能中断查询方式和自恢复保险丝两种保护。

二、系统设计总体方案

太阳能路灯控制器各个部分的控制功能由STC12C2052AD（以下简称2052）单片机来完成。单片机采集太阳能极板两端电压、蓄电池两端电压和负载电流后，经过内部算法分析后，从单片机的输出端口控制场效应管开通与关断，从而实现对蓄电池以及负载的控制。

1. 主要部分选型

（1）太阳能电池板

太阳能电池板是太阳能路灯的核心部分，也基本上是太阳能路灯中价值最高的部分。其作用是将太阳的辐射能量转换为电能送至蓄电池中存储起来。在众多太阳能电池中较普遍且较实用的有单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池及非晶硅太阳能电池等三种。本设计根据总体配置要求选择了12V/120W如图1所示的单晶硅太阳能电池极板作为光电转换器件，白天正常光照强度下极板实际空载输出电压在18V左右。

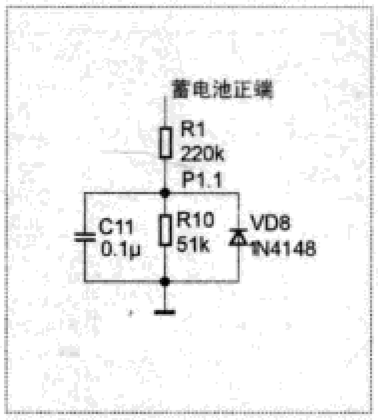


图3 蓄电池电压检测电路

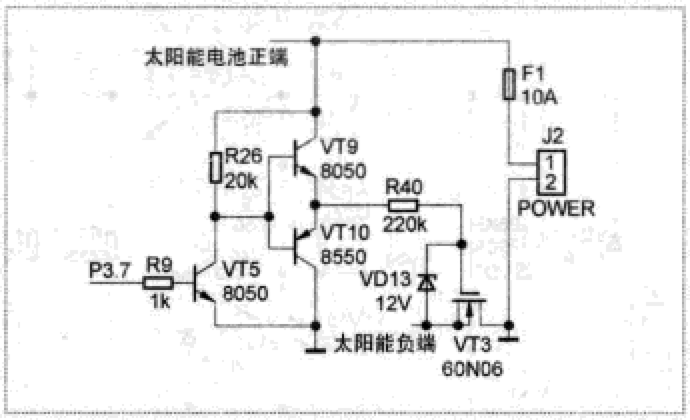


图4 充电控制电路

（2）蓄电池

由于太阳能光伏发电系统的输入能量极不稳定，所以需要配套的蓄电池系统才能工作。常用的有铅酸蓄电池、Ni-Cd蓄电池、Ni-H蓄电池。蓄电池容量的选择一般要遵循以下原则：首先在能满足夜晚照明的前提下，把白天太阳能电池组件的能量尽量存储下来，同时还要能够存储满足连续阴雨天夜晚照明需要的电能。蓄电池容量过小不能够满足夜晚照明的需要，蓄电池过大会始终处在亏电状态，影响蓄电池寿命，同时造成浪费。经过论证选择了100W铅酸蓄电池作为储能器件。

（3）路灯灯头

根据系统要求，选择了由单体1W白光高亮发光二极管组成的24W路灯灯头，如图2所示。因为发光二极管光源寿命长，可达1 000 000小时，工作电压低，不需要逆变器，而且光效较高。

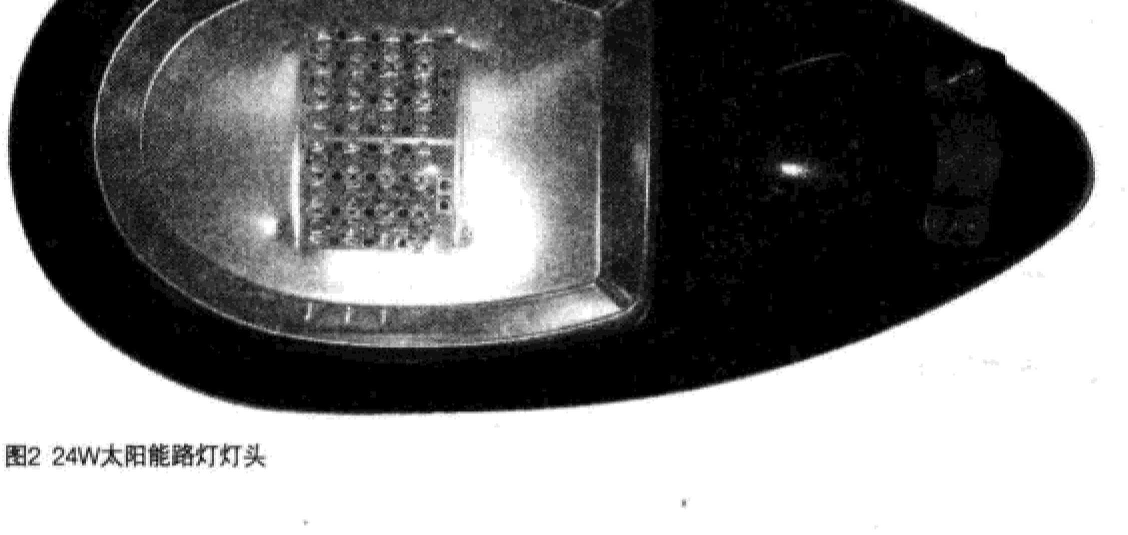


图2 24W太阳能路灯灯头

2. 电压采集电路

在独立的太阳能应用产品中，蓄电池是整个系统的重要组成部分，对蓄电池的保护也至关重要，所以电路中必须设计有蓄电池两端电压的检测电路，来检测蓄电池电压的大小，从而使控制器有效地工作。为了保证准确性，整个控制器的基准零电位点采用蓄电池的负极。蓄电池电压检测电路如图3所示。

图3中2052的P1.1口可作ADC输入通道，故可以将采样结果送至单片机内部。在很多需要模数转换的场合，为了提高AD的分辨率，往往都选择较小的电压作为基准源，特别是采集电压值较小的模拟信号，此时2052单片机内部的基准电压（1.1V）无疑是较好的选择。本控制器的模数转换模块（ADC）就是采用2052片内的1.1V的基准电压。蓄电池采样电路将采集到的信息送到ADC，通过单片机的分析，判断当前电池的状态采取相应的充电控制方法。太阳能极板电压检测电路与本图类似。

3. 充电电路设计

充电控制电路如图4所示。

当P3.7输出低电平时，VT5截止，从而VT10截止，VT9导通，这样VT3导

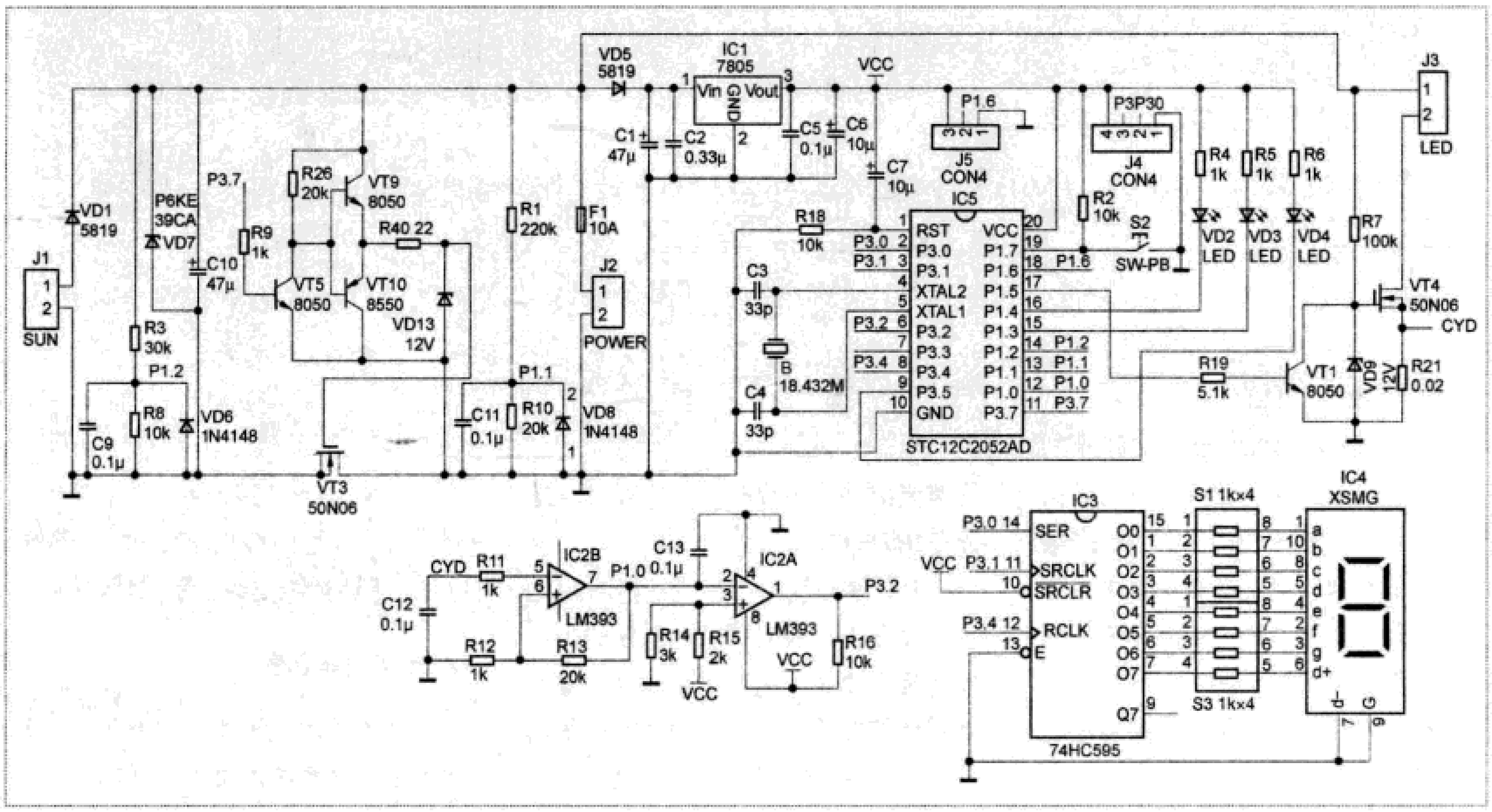


图5 电路原理图

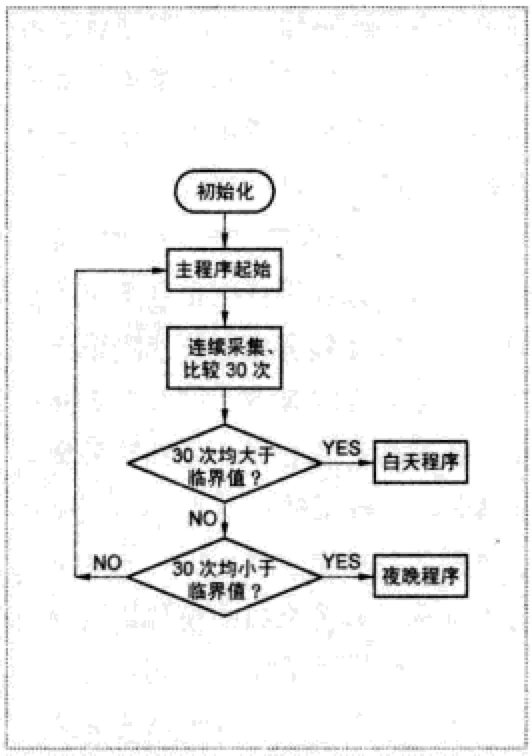


图6 白天夜晚判别程序流程图

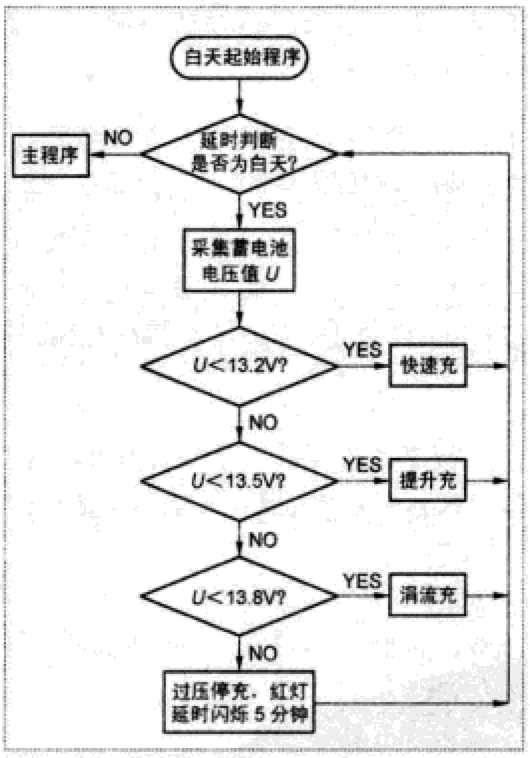


图7 白天处理程序流程图

通，将蓄电池的负端和太阳能极板负端连接在一起，太阳能极板给蓄电池充电。当P3.7输出高电平时，VT5导通，从而VT9截止，VT10导通，这样VT3截止，将蓄电池的负端和太阳能极板负端断开，此时太阳能极板不能给蓄电池充电。控制器软件通过判断蓄电池端电压和太阳能极板端电压来决定是否充电以及充电阶段采用何种占空比的PWM波进行控制。

整体系统电路见图5。

三、软件设计

一个控制系统要正常工作，仅有硬件部分远远不够，还需要软件部分的配合才能构成一个完整的控制系统。硬件电路是软件程序工作的基础，而软件程序能使硬件电路的功能得到充分的发挥，两者是相辅相成的。

1. 白天夜晚判别程序

白天夜晚的判定是进行不同操作的分界点，白天控制着充电，晚上控制着放电。判别白天夜晚，首先要采集太阳能电池电压，采样电压值与白天晚上电压临界值进行比较：若30次均大于临界值则为白天，进入白天处理程序；若30次均小于临界值则为夜晚，进入夜晚处理程序；否则为干扰信号再次进行30次采集比较。白天夜晚判别程序流程图如图6所示。

2. 白天程序

白天处理程序主要完成对蓄电池充电阶段的控制流程，如图7所示，具体步骤如下。

首先经过延时判断是否确定为白

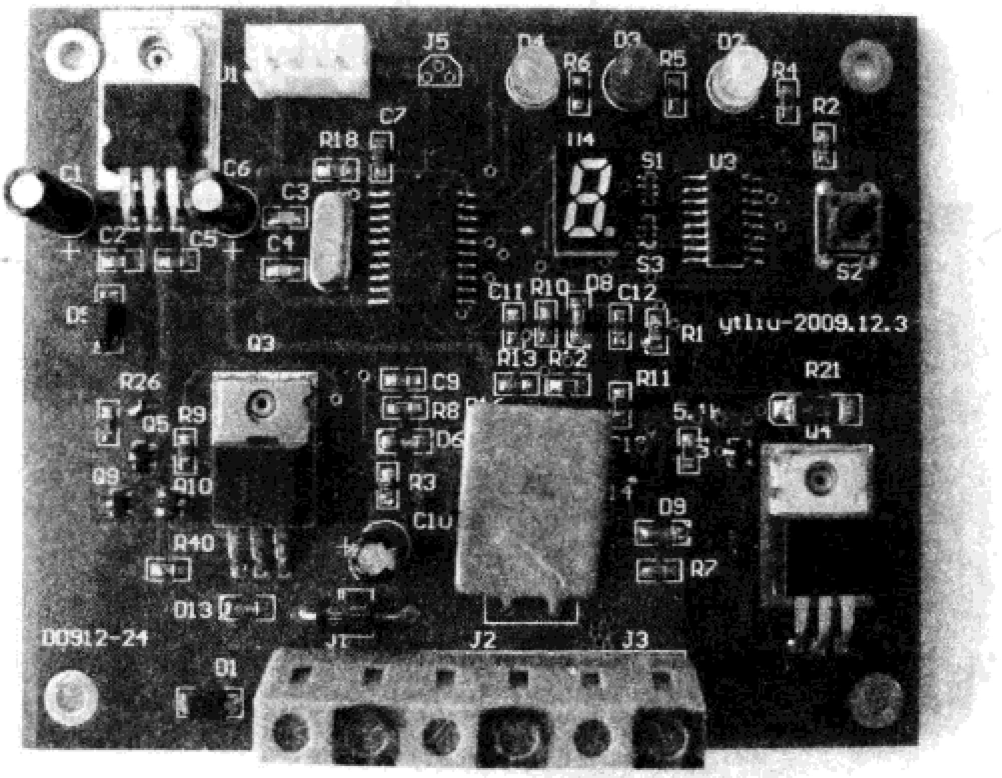


图8 采用大量贴片元器件制作的电路板

天，然后采集蓄电池两端电压，根据蓄电池的电压状态（过放、过压、正常）采取不同的充电方法。传统的控制器充电采用常用的三段方法是在恒压的前提下，但实际运行中发现太阳能电池电压和输出电流是随着光照强度变化而变化的。因此传统应用的三段法在此不太适用。经过长期观察最终系统确定采用最大电流法充电，即在保证充电电压不过压的前提下，以现有光照强度的最大电流对蓄电池进行充电。实时监测蓄电池电压保证到达蓄电池容量的90%左右时再采取PWM调节减慢充电速度。这样可以完全充分利用太阳能不造成浪费，使蓄电池尽快恢复到饱和状态。具体控制如下：当蓄电池电压低于13.2V，则充电场效应管60N06完全打开采用快充方式。由于单片机本身具有PWM功能，在浮充和涓流充阶段主要是通过改变场效应管导通时间的占空比来改变充电电压，以达到不同阶段的充电控制。

3. 夜晚处理程序

夜晚处理程序的主要功能是控制路灯点亮时间以及蓄电池的过放、短路、过载等保护。路灯有三种工作模式：纯光控、光控+定时和手动控制。

纯光控是当光照较弱时，太阳能电池电压低于临界值后路灯点亮。当光照较强时，太阳能电池电压高于临界值后路灯关闭。此控制模式下灯具夜晚常亮功耗大，对太阳能极板和蓄电池的配置要求较高，适合特定场合。

光控+延时工作方式，太阳能电池电压低于临界值后，控制器延时5分钟确认启动信号后路灯开启开始工作，当开启到设定时间就会自动关闭。

手动控制是通过按键操作完成灯具的开启和熄灭。此方式是为了安装调试时检查系统各部分性能是否正常使用。

四、实际焊接调试

制作好的实物见图8。本控制器用绿色、红色、黄色发光二极管分别指示太阳能电池板、蓄电池、路灯灯头的工作状态，并作为相应的故障及报警指示。由于单片机的串行口被用作了程序下载及数据观察，所以电路的译码驱动芯片74HC595只能通过单片机普通I/O口来模拟串口完成数据传输显示。其中数码管分别显示数字0～9和字母A、B、C、D、E、F对应不同的设置功能。为了降低成本节省空间，系统散热采用了板体覆铜加散热孔的方法，将主要发热器件的散热部分焊接到电路板上。

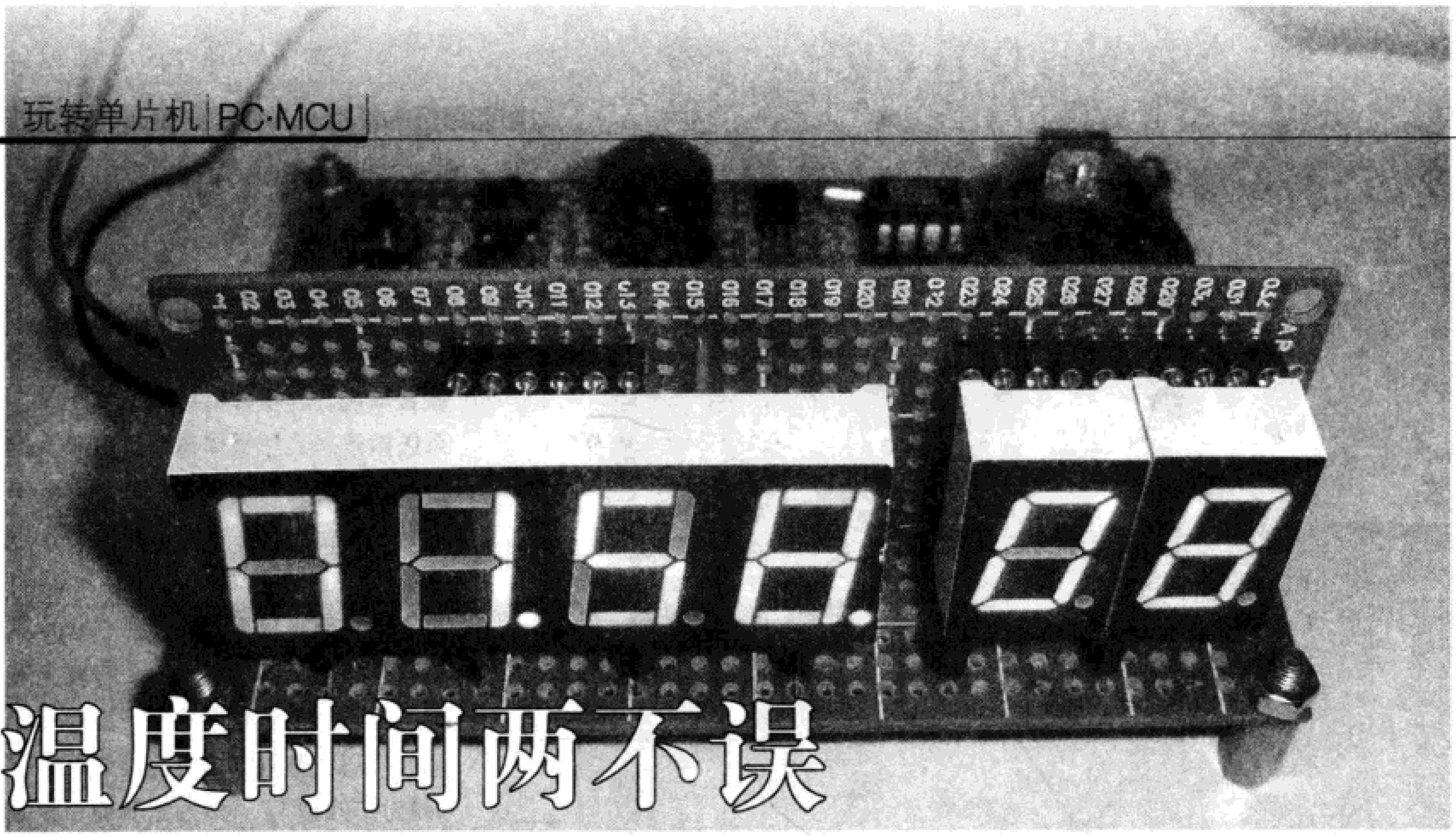
系统器件基本都采用了贴片封装完成，而焊接重点和难点在单片机部分。由于引脚密集，手工焊接易短路。因此制作者需要具备一定焊接经验和技巧。整体焊接时应当先从多引脚芯片开始入手，然后是其他小型贴装器件，最后焊接较大的直插器件，以免直插器件对贴装器件的焊接造成不便。焊接时最好将芯片对准位置先焊其中一个引脚，之后对芯片进行校正和位置调整，再选择与第一次焊接对称的引脚操作，从而使单片机位置准确，方便后面更多的引脚焊接。完毕后最好能使用放大镜检查一下各个引脚看是否有短路和虚焊。

由于控制器在户外工作，为了增加其稳定性并防潮防腐最好调试完毕后用三防漆整体涂抹，然后再放入外壳中投入使用。

五、总结

本系统利用单片机STC12C2052AD实现智能微控制器的设计。完成了太阳能电池电压检测，蓄电池电压检测，充电电路设计和保护，按键及显示，负载输出和保护的基本功能。

系统选取贴装元器件和无散热片设计，大大缩小了体积。采用了功能较强的单片机从而减少了其他芯片（如A/D转换器等）的应用，并且板载散热等方法的设计也降低了整体硬件成本，同时提高了控制精度和质量，达到了较高的智能化水平。经过近一年的运行效果良好。在此硬件基础上通过软件修改该设备还可用于交通灯和庭院灯的智能控制。



温度时间两不误

——立起来的建筑制作风格

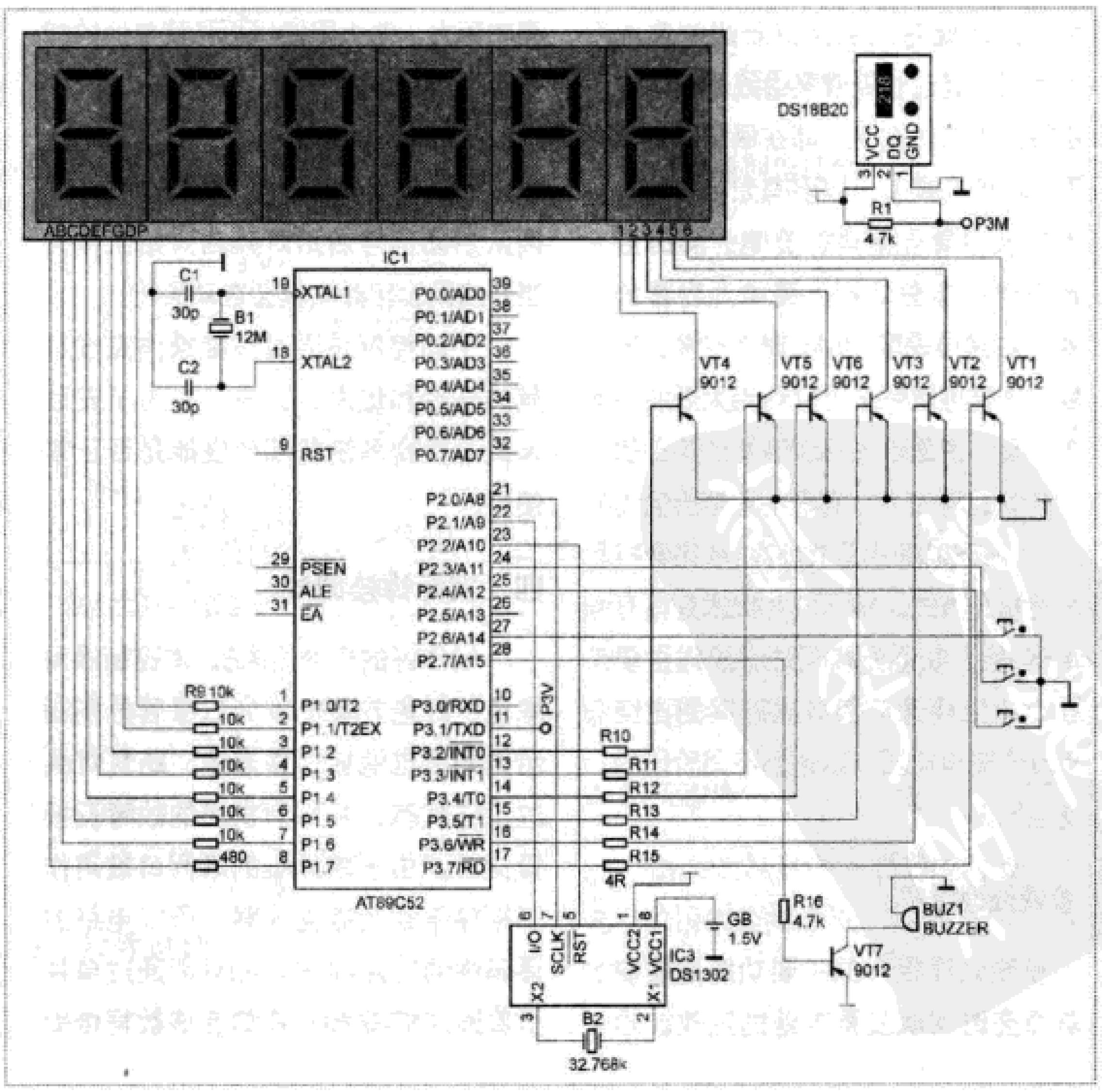
◎伍浩荣

如题图所示，本作品由六位数码管制作，分别显示小时、分钟和秒，整点到来时蜂鸣器长鸣一声，半点到来时蜂鸣器短鸣一声，以听声音区分时间所在大概位置，为了防止影响睡眠，报时设置在7:00~24:00之间，时间显示7秒，温度显示3秒，时间和温度交替显示，互不耽误各自的运作，分别用DS1302时钟芯片和DS18B20温度芯片制作，得到的数据精确且掉电后不遗失数据。题图是时间显示的界面。

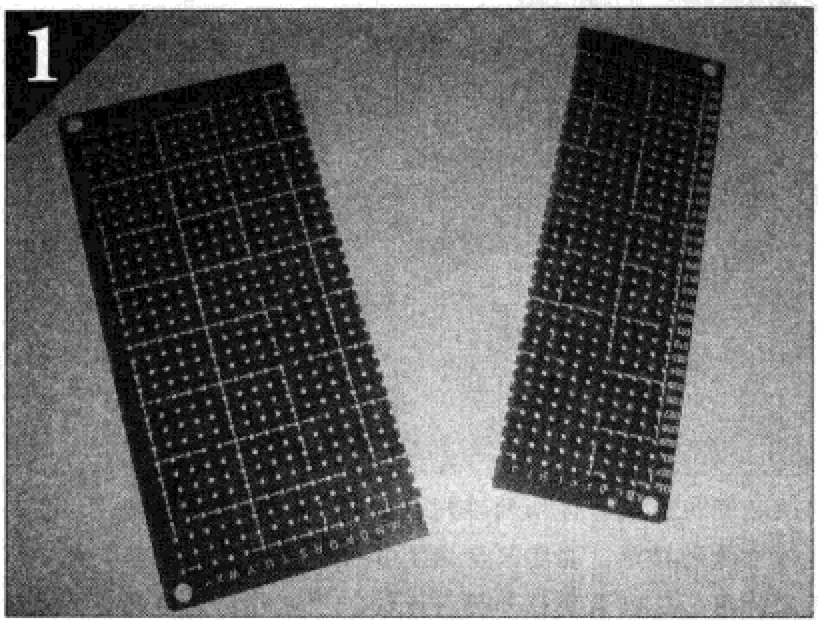
图示为显示温度的界面，温度的精确度为小数点的后一位，后两个数码管形象地显示了温度的摄氏度符号“℃”，那么前面两横代表的是什么呢？这是我想出来的小型“水银式”温度计，温度低于15℃时显示一横，大于15℃小于28℃时显示两横，高于28℃时显示三横，看！是否像一个小型的水银温度计呢？这样做可以更加直观地显示温度。电路原理见附图。

所需元器件：

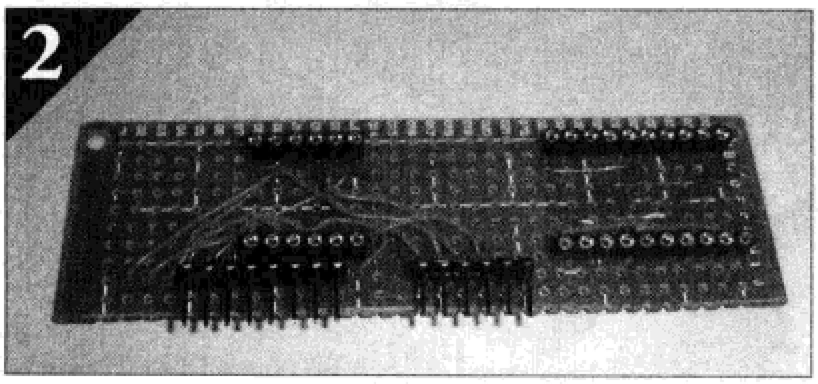
STC89C52RC40脚单片机1块
12MHz晶体1个
30pF电容2个
DS1302时钟芯片1块
32.768kHz晶体1个
3V电池座
DS18B20温度芯片1个
3V电池1只（用于供电与时钟芯片，使其保存数据）
7cm×9cm洞洞板2块
4位共阳数码管1个
一位共阳数码管2个
有源蜂鸣器1个
180Ω电阻8个
1kΩ电阻6个
4.7kΩ电阻2个
9012三极管7个
小型的微动开关3个
圆孔排针座若干（用于插上数码管）
排针若干
排线若干



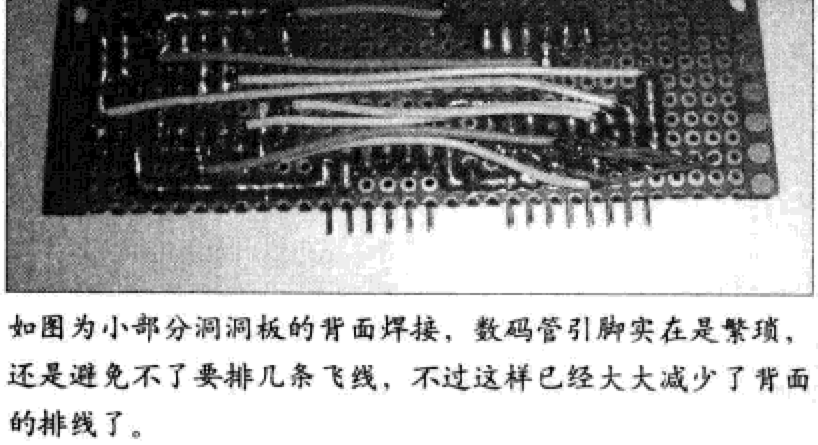
废话不多说，下面开始制作：



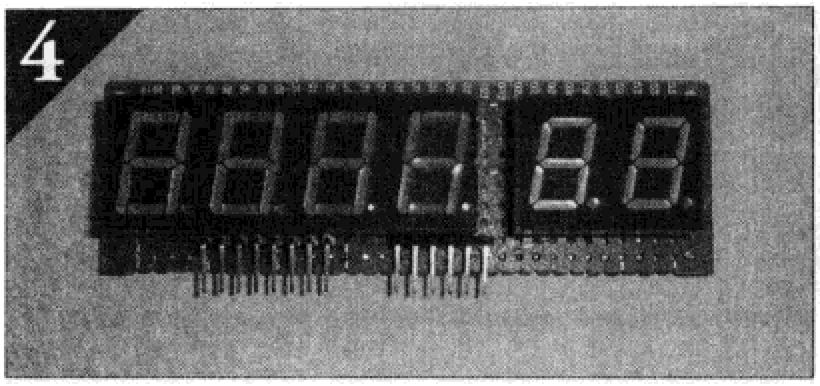
把其中的一块7cm×9cm洞洞板用刀片裁开大小两部分，我们只需要小的部分，大小也要合适，能恰好放入数码管为好，长宽大概为3cm×9cm。



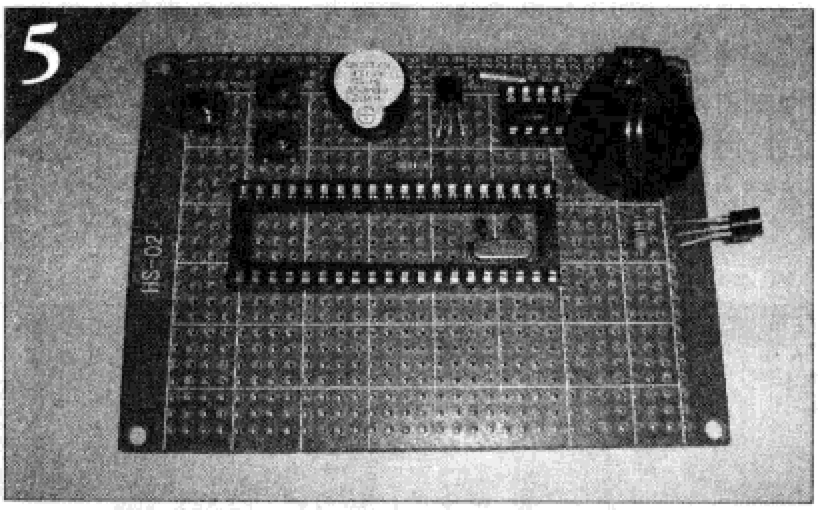
如图所示，把圆孔插座焊接在适当位置，并在小的洞洞板表面排好数码管的飞线，数码管的引脚排列比较乱，如果直接排线会非常零乱，此动作能减少背面的排线，当放上数码管时就会掩盖了表面的飞线。事前要测试好每个引脚代表的显示段码，然后按顺序连接在8针和6针的排针上，这样就把零乱的引脚变成有顺序排列的引脚了，方便后面的焊接。



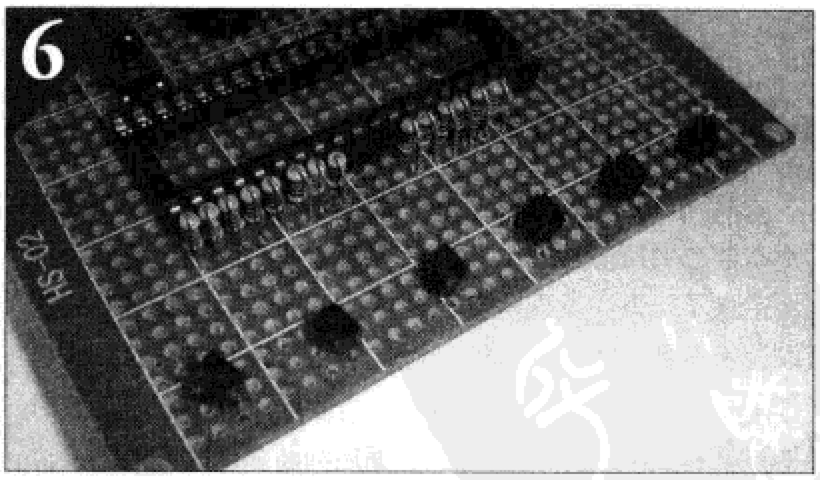
如图为小部分洞洞板的背面焊接，数码管引脚实在是繁琐，还是避免不了要排几条飞线，不过这样已经大大减少了背面的排线了。



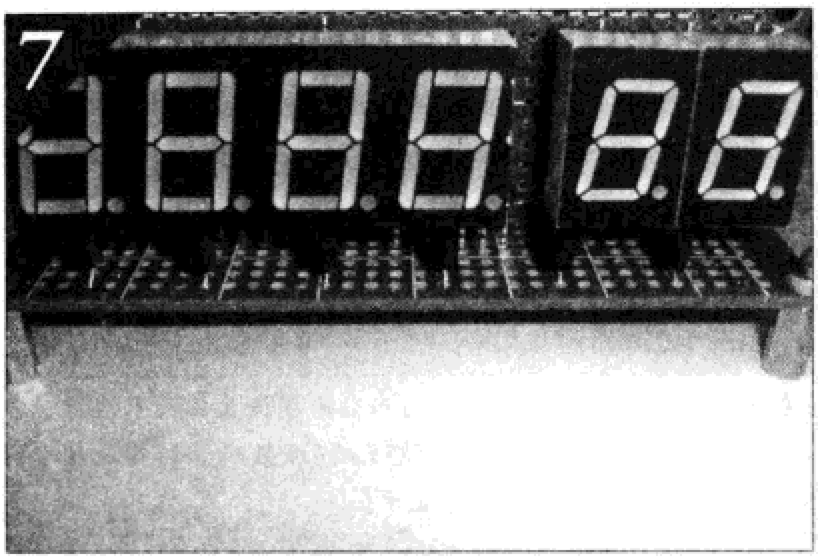
在表面插上数码管后，把里面的零乱排线掩盖得天衣无缝，正面观看就可以瞒过天海了，这里的4位数码管和其他两个要分开一定的距离，用于区分显示。



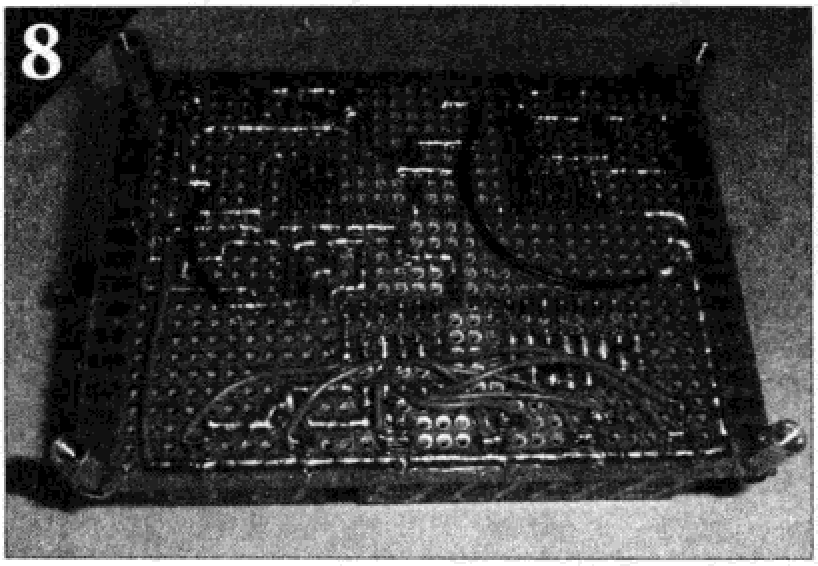
再在另一块7cm×9cm的洞洞板上按照电路图排列好元器件并焊接好，以上的元器件是根据板子大小合理分析而排列的，当然，主要的目的还是为了使作品外表更加美观，所以还是值得花时间规划好每个元器件的所在位置。注意，DS18B20温度芯片要弯曲向外放置，尽量远离其他的器件，以免其他器件发热而影响芯片的温度读取，即图中最右侧类似三极管的部分。另外，一定要注意：DS1302芯片主电源是VCC2，VCC1是后备电源，如果焊接错是读不出时间的。



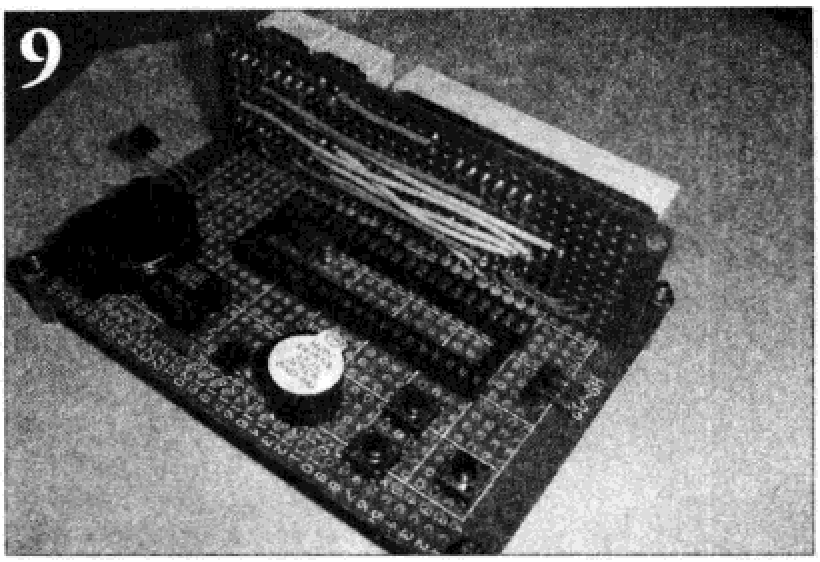
再按照如图所示排列好电阻和三极管，注意电阻要竖立排列，尽量贴近单片机插座，留出一部分空间为小部分板子的焊接，还要注意三极管的排列间隔要均匀合适，并且把三极管的发射极（e极）排列在外面，方便后面的焊接。



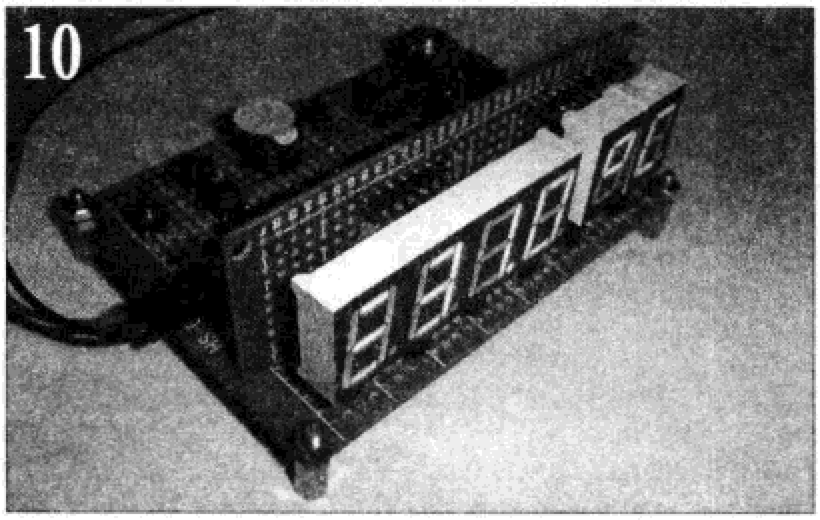
把数码管部分的洞洞板插上，注意要对应之前排列好的排针，和单片机插座一边的电阻对应上即可，8个排针对应单片机的P1组口，6个排针对应单片机的P3组的后6个I/O口（即P3.2～P3.7口），每个数码管下面对应一个三极管，对应上后就可以在背面直接焊接进行固定。



然后在洞洞板的背面过好锡，并把不能过锡的部分用飞线解决，如图所示为背面的焊接。



两块洞洞板连接后详细的排列如图所示，用三针排针焊接上当作电源的接口，其实只使用了其中的两针，另一针只起到固定作用。这里采用杜邦插头连接，你可以用其他部分作电源接口。



插上下载好程序的单片机和接上5V电源后，这个作品就可以宣布施工完毕了。温度跟时间的交替显示，让你短时间内收获两个重要信息，这样就为日常生活带来了方便，而且两块板子形成90°角竖立起来，很有现在建筑的风格，全新的有趣制作让你耳目一新，读者们快来制作一个吧！

程序指点

以前用DS18B20制作了一个温度计，发现如果让温度芯片不断读数会使芯片温度升高，导致温度的读取不准确。在网上搜索了一下，发现网友也有这种情况，所以我把温度的读取设定在到了30秒时读取，也就是每分钟读取一次，这样就可以减少误差，而且一分钟内的温度变化也不大。用定时器不断读取DS1302时钟芯片的数据后判断显示时间的到来，设定两个标志用以区分显示时间和温度，如当前显示的为时间时，当温度显示的标志到来时就要把时间显示的标志清零，见程序1。

程序1

```
if(flagtime==1)
{
display();//显示时间
if(flagtem==1)//当温度显示标志到来时
{
flag2=0;//使时间显示标志清零、从而退出本语句后转向显示温度
}
```

这样就可以交替显示温度和时间了。

报时部分也有学问，先在主程序判断时间的到来，如整点报时程序为：if((fen==00)&&(miao==00)&&(shi>=7))，“shi>=7”为自己设定的报时范围，平时的做法为beep=0；delay（），beep=1；先启动蜂鸣器后延时再关闭，这样做似乎没有什么错，但是作品一出来的时候就看出问题了，时间一到的时候单片机只做报时的任务，其他的都停止工作了，这样就会出现报时的时候数码管停止显示或者停止其他。现在电路设计很重视效率问题，如果让CPU白白浪费在延时上，效率就得不到有效的提高，所以我想出了一种新的方法，修改了延时的部分，让CPU做其他的事情。如把延时部分修改成显示时间，当显示时间许久后再来关闭蜂鸣器，这样就可以防止报时的时候停止其他的工作了，还有显示时间的长度要大于1秒，这样就可以避免不断地判断报时。

按键的扫描我是用定时器去扫描的，许多教材上的用定时器扫面按键说得很含蓄，于是我也想出了一种用定时器扫面按键的方法，这也是从效率问题去考虑的做法，如果用CPU去扫描效率得不到提高，我的做法是，先用定时器设定一定的时间不断判断是否有键按下，然后设定按键按下的标志，再在主程序中判断标志的到来，再用定时器行走一段时间避过按键的抖动，后做按键所做的工作，最好还要记得把按键按下标志清零。这部分的程序见程序2。

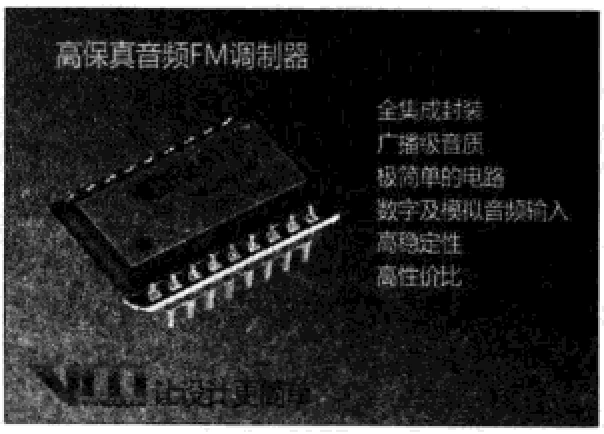
这样做就大大提高了单片机的工作效率，至于DS1302和DS18B20如何读数在这里不再多提。上网搜索一下就可以得到一大推。在这里提及的几个重要部分，读者在编程的时候只要认真思考一下就可以编写出来了。如需程序可以到《无线电》杂志的网站上下载。

程序2

```
void timer1() interrupt 3//先用定时器判断按键按下
{
    TH1=(65536-50000)/256;//5ms扫描一次
    TL1=(65536-50000)%256;
    count++;//
    if(key1==0)
    {
        flagkey1=1;//使标志为1
        count=0;
    }
然后在主程序中判断如下语句：
    if(flagkey==1)//按键按下标志
{
    if(count>1)//消抖
    {
        if(key1==1)//等待按键松开后处理
            count2=0;//时间清零
        flagkey1=0;//使标志变为0退出本语句
    }
}
```

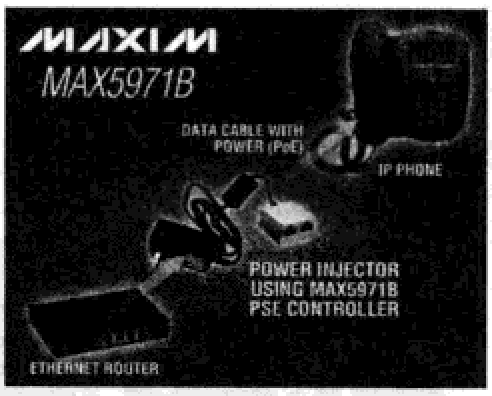
V-Module推出广播级音质的音频FM调制器

北京瑞宇飞科技有限公司旗下的V-Module系列产品最新推出了音频FM调制器VMR6512。该模块将立体声音频信号调制到76.0~108.0MHz进行发射，无需任何外部元件即可工作。内部采用了先进的DSP技术处理音频信号，发射信号的频率响应在30Hz～15kHz都非常平坦，并具有极高的信噪比和立体声分离度，真正提供了广播级的音质。此外它还采用了频率合成技术保证了发射频率的稳定性。

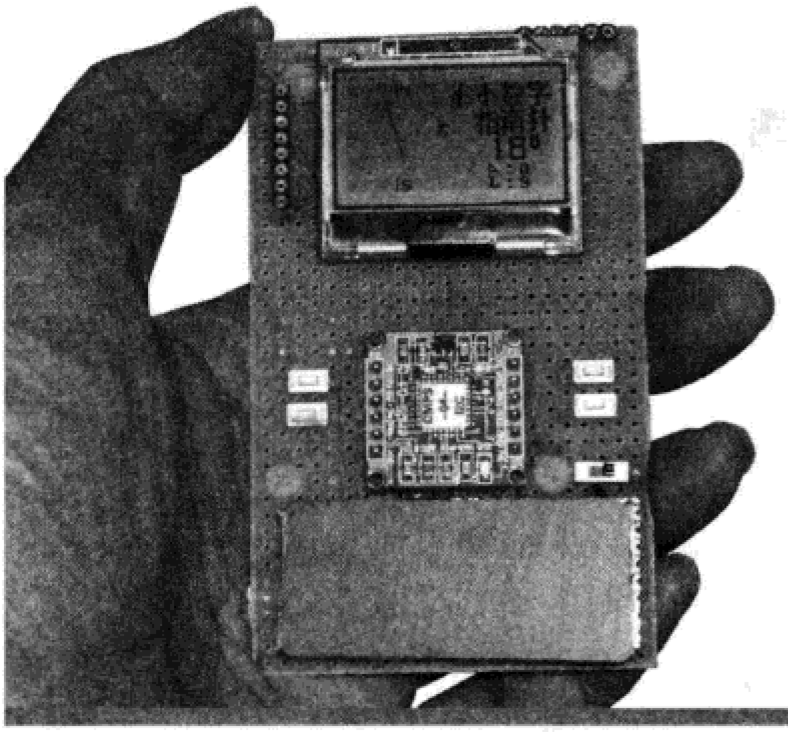


Maxim 推出新型单端口、供电设备控制器

Maxim推出单端口、供电设备（PSE）控制器MAX5971B，它适用于IEEE® 802.3af/at兼容的大功率以太网供电（PoE+）应用。器件集成导通电阻为0.5Ω的功率MOSFET、检流电阻和电流监测电路，有效节省了PSE系统的空间和成本，典型应用电路仅需不到8个外部元件。此外，MAX5971B还包含一个9位ADC和I²C接口，能够实现先进的电源管理和电源预算调节。MAX5971B能够为PoE+用电设备（PD）的每个端口提供高达40W的功率，非常适合IP电话、IP摄像机、无线LAN接入点以及视频监控摄像机等应用。



登录美信官方网站:http://china.maxim-ic.com/可申请免费样片



图形液晶模块应用入门 4

无字库12864液晶模块应用实例三

小小数字指南针

◎卫小鲁

指南针，又名罗盘，这可是家喻户晓的东西，四大发明嘛。传说华夏先祖黄帝造指南车大败蚩尤氏，其重大意义自不待言。不过那个指南车究竟是个什么玩意，实物和图纸都没有传下来，大家也就无从知晓了，现今大家都不把它当回事，一个玩具指南针也就二三元钱吧，军用的大家伙则要好几十元一个。沉甸甸的一大坨挺神气，不过它再复杂实质上也不过是一根磁针而已。今天我们的这个小制作，虽然貌似简单却是个高级玩意儿：数字指南针！接上电源，按下按键，液晶屏上立即显示方位角数值，还能加磁偏角校正！同时显示的模拟指针不管装置怎样转动始终保持南北指向不变，就如同磁针那样。和玩具指南针的对比见图1。

通过这个小装置的制作，我们可以了解它的基本工作原理和AVR单片机的I²C数字通信方法，更重要的是，进一步掌握这个小串行无字库图形液晶的图形界面应用。

数字指南针的基本原理

不用磁针却能精确指示方位角，是得益于人们发明了一种叫做“各向异性磁电阻传感器”的元件，它是基于硅片上的条形坡莫合金薄膜的电阻值在顺向磁场中不变而当与磁场呈角度时电阻会减小的现象，用4个这样的磁电阻接成电桥构成对弱磁场方向敏感的传感器。再用两个同样的传感器检测地球磁场*H*对于传感器的两个垂直方向的分量*Hy*和*Hx*的数值（注意：*X*是纵轴-南北方向），这个比值的反正切就是传感器的*X*轴和地磁场轴向的夹角θ也就是方位角，如图2所示。为了检测仅仅0.6毫高斯的微弱的地磁场并换算出角度，还需要附属的信号调理电路。厂商一般把它们集成为数字罗盘IC，使用时要配备微处理器，计算出方位角。

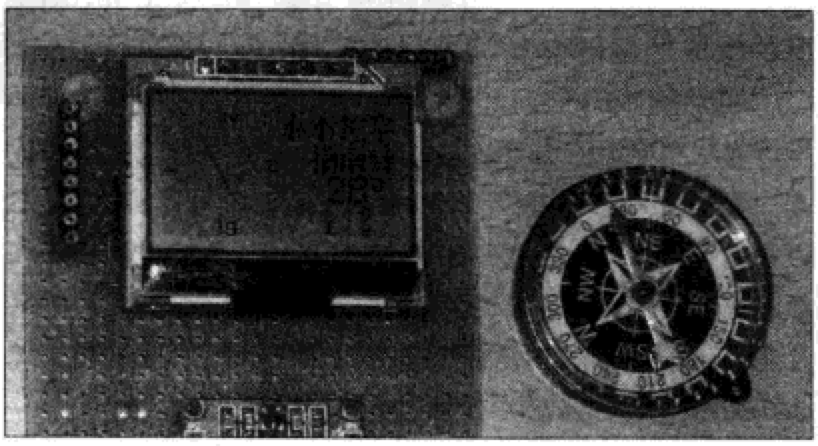


图1 数字指南针的尺寸与玩具指南针相近

虽然目前市场上能够买到进口的数字罗盘IC，但是在一般业余条件下，要制作细小印制电路板、焊接更加细小的元器件和测量编程都比较困难，所以本制作使用的是带有传感器、MCU和相关元器件印制电路板的数字罗盘模块。这样我们只要关注如何把模块提供的测量结果读出并用小液晶显示出来就得了，比直接插手传感器简单得多。当前这种模块对外的数据接口有RS232、TTL串口和I²C几种，232的适合用电脑做上位机，TTL和I²C都可以用单片机做上位机，通过上位机来对模块加以控制并显示出方位角来。本制作使用的模块型号为CMPS04-I²C，是I²C接口的，外形正反面见图3，反面右边的那个小集成电路就是霍尼韦尔的数字罗盘IC HMC1052。模块输出的方位角和磁偏角数据都是无符号整型，高7位是0，低9位是角度数据。关于这个模块的详情可到网上查询。

电路原理

电路原理图见图4。图形点阵液晶，单片机ATmega8L-8PU（简称M8）和上述电子罗盘模块就构成了这个小小数字指南针，电路十分简单。接线和日历钟、温湿度计两个例子

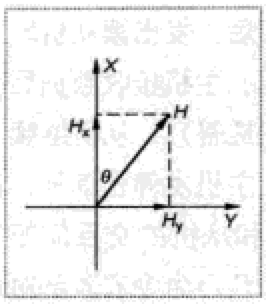


图2 磁阻传感器原理

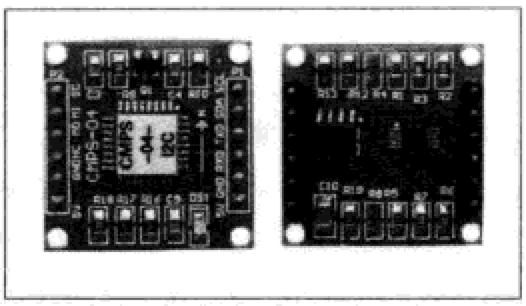


图3 本制作采用的数字罗盘模块

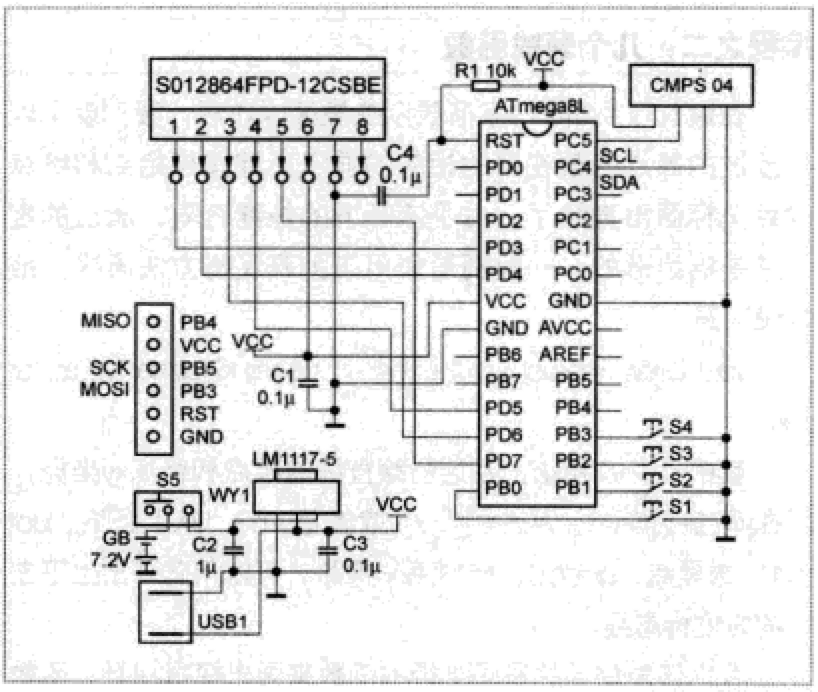


图4 电路原理图

差不多，液晶就不说了，不同的是，模块要求5V工作电源，那对于M8和液晶都没有问题。在调试时就使用小型USB插座USB1从电脑取得电源，因为实际移动使用时不能拖电源线尾巴，所以用了7.2V聚合物锂电池做电源，经过WY1:1117-5稳压为5V供电。没有采用开关升压电路的原因是这些电路不可避免地存在高频磁场干扰，这个可能会对微弱磁场敏感的传感器造成不可消除的影响。如用9V叠层电池一是容量太小，二是其铁皮外壳会干扰地磁场，用AA干电池，体积大、容量小也存在铁皮外壳问题，所以最后就用了400mAh的充电电池。开关S5是电源开关。

按键S1是测量启动按键，打开电源后，按下S1，指南针立即工作，液晶显示出方位角和模拟指针；

按键S2是测量停止按键，按一下显示停止变化，再按一下，清除原有方位角显示值；

按键S3是校准按键，如果周围地磁环境有较大变化（附近存在大块磁性材料如钢板建筑等）需要先检测一下地磁场环境，然后对测量值加以补偿。按一次启动校准，再按一次停止校准；

按键S4是磁偏角设定，初始为0°。每按一次增加1°，超过6°就回到0°。因为地球地磁北极和地理北极并不重合，就我国来说根据地域不同具有1°以下到6°的偏角（偏东），所以要得到地理方位角应该把地磁方位角再加上磁偏角，测量结果中已经引入了磁偏角，把它设置为0°（出厂默认）就指示地磁方位角。

关于串行图形液晶的进一步探讨

在前几个例子中我们已经了解了应用这个液晶绘图的一些方法并给出了基本的绘图函数。在《小小温湿度计》一文中还介绍了为了绘图方便，编造的绘点函数并用于湿度记录曲线的显示。然而用这个绘点函数可以画横向点，可是画垂直方向相邻点却会出毛病。原因是由于液晶是基于按页-列显示的，如果在同一列的同一页先后写入两个数值，则后写的会盖掉先写的，比如对X列Y页先写0X80，显示出该位置最低的一个点，如果同一位置再写0X40则显示该位置相邻高一位那个点，同时原先显示的最低点没有了。如果要同时显示这两个点（这是画连续线的基础）就必须知道该页以前的状态是什么，采用读—修改—写的方法。但遗憾的是，串行液晶只能写入不能读出显存的数据（并行可以），也就无法得知显存区以前的状态，不能使用并行液晶的“读—修改—写”命令，从而给应用带来困难，这也就是串行液晶的缺点吧。真就没办法束手待毙？办法还是有的，而且特别适用于带有较大数据区RAM的M8单片机。

解决办法就是在MCU的RAM区开辟一块显示映像区，让它和部分液晶显示缓存区对应。在给液晶显存某页单元写数前先在映像区找出相应单元以前保存的数据，就能间接知道显存的历史状态了，把待写数和保存数运算后再写入显缓并更新映像单元。如果要写黑点，把待写数和对应的映像单元中的数“位或”运算后再写入液晶显缓即可，这样以点坐标为单位写新点就不会擦旧点，就可以连续使用绘点函数绘制任意方向直线了（改进后的绘点函数程序可到《无线电》网站上下载）。M8具有1024的RAM，在一般情况如果使用变量不多，只要不是满屏绘图，划出一半来做显示映像区没有问题。我们这个制作左边的模拟指针就用了这个办法。注意开机启动时，先把这块映射区给清理干净。

硬件组装

采用了一块10cm×6cm的小万用板来组装全部元件。除了WY1和USB1焊在电路板反面外，其他元器件都装在正面，液晶、模块使用排针和排针座插装，电路板上焊排针座，7.2V锂电使用2块同样的3.6V锂电串联，在一小块万用板上一端焊8孔排针座，焊上电池引线，用透明胶带把电池和万用板捆绑牢固做成电池组件，主电路板下方焊上对应排针，用TP4051 型USB充电器给电池充电（充电器不装在板上，一次

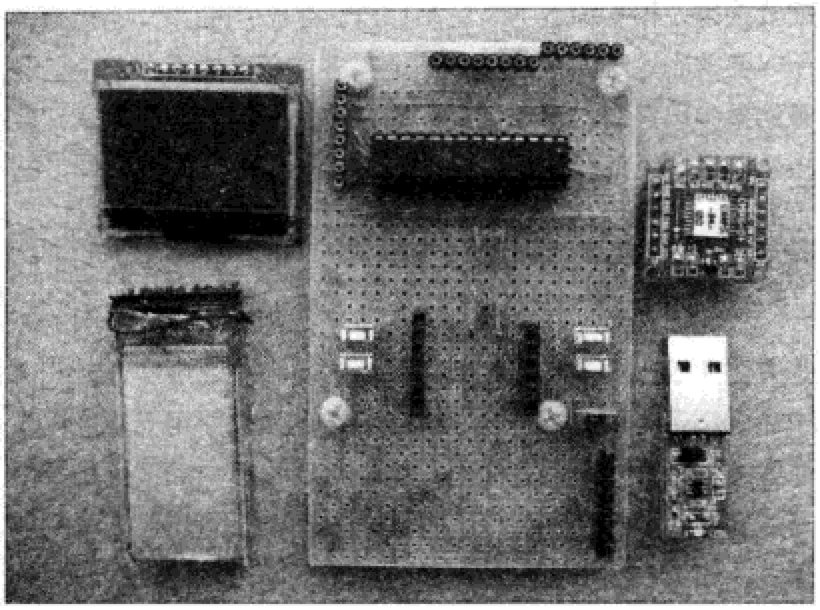


图5 制作所需部件

只能充一块电池，电池组要做两次充），两个电池通过排针串联，之所以用8根针，为的是加大摩擦力，使电池不会轻易脱出，排座在电池组上，也起到防止短路的作用。

罗盘模块要装在电路板中间，方向要使得它标注的方向N指向主电路板的纵轴也就是前方，模块周围要空旷一些，特别不要有磁性金属和大电流线靠近，现在是通过排针座把模块架空起来1cm高。常用的S1、S2、S5装在电路板右方，不常用的S3、S4装在左方。各部件见图5。

编程之一：使用M8的I²C功能

前边说过，现在用M8作为上位机，通过I²C总线和罗盘模块交换信息：发信——给模块发送控制命令，收信——让模块给M8提供所需的数据。I²C总线使用两根线SDA和SCL通信，具有接线简单，速度快，而且可以挂接多个设备的优点。M8单片机就具有控制I²C总线的功能，不过他叫TWI，使用它的TWI功能时只要先通过寄存器TWBR定好通信速率，然后只要设置控制寄存器TWCR就可以启动、停止总线的读写，而且不必在程序中去一个个模拟SDA和SCL的脉冲升降，大大方便了使用。

通信在主机（M8）和从机（罗盘模块）之间进行，如果是写数据到从机，过程是首先主机发启动信号，等待从机应答。从机应答后，主机发出从机硬件地址（这里是0XE0)再次等从机应答。从机应答后主机发出从机待写的内部寄存器地址,等从机应答，应答后主机就把寄存器TWDR中的数据写入从机，从机有应答表示接收到数据，可以继续发，直到发完，主机发停止信号结束。

如果主机要读取从机的某个寄存器内数据，则是主机先发启动信号，等从机应答后发从机硬件地址0XE0，从机应答后发从机寄存器地址（0X01、0X02中即是方位角数据），等从机应答后再次发启动信号，从机应答后，发出读从机地址0XE1，从机响应后从机发送数据给主机，主机接收数据后若发应答信号（注意现在是主机给从机发应答），从机继续给主机发数据，否则从机停止发送数据，主机发停止信号，结束通信。可见整个通信过程就是主机和从机的交互问答进行的。具体过程可参见程序。其中用了几个命令宏表示对TWCR的操作，以便于理解。

编程之二：几个画线函数

在建立了半屏512字节显示映像区以左后，我们就可以用改进的画点函数在屏的相应的显示区域按照始点和终点的点坐标画出直线了。由于液晶屏的像素有限，画出的直线总是锯齿形的，一般都是使用布列森汉姆方法画线，函数说明是：

void Draw_line(uchar x1,uchar y1,uchar x2,uchar y2,uchar dot);

其中x1、y1和x2、y2为所绘直线的起点和终点xy坐标，现在x取值为0-63，从左到右，y取值是0-63，从上到下。dot为1，画黑点，dot为0，画白点—擦除。可以用它画出上下左右的方位标志线。

我们还要使用的是画半径的函数来画出模拟指针，函数声明是：

void Draw_R(uchar x,uchar y,int deg,uchar r,uchar dot)；

其中，xy是圆心坐标，deg是半径和y轴角度，r是半径长度，dot同上。模拟指针由一长一短、指向相反的两条半径组成，注意，现在画的模拟指针，是指向正北（长半径）正南（短半径）的，它相对于罗盘模块的纵轴X的角度分别是$deg=360-\theta$和$deg=180-\theta$。其中θ是罗盘模块测出的方位角。在画出新的指针前，先要擦除旧的指针。让原有指针角度把dot设为0重画一次就行了。

主流程

主流程还是上电-初始化-判键循环，但是在判断有S1键后，就进入读取罗盘模块—方位角测量循环，为了能控制循环中止，使用S2的断开作为while循环的条件，一但按下S2使它接通，就终止了测量循环。

S3的校准功能和S4的磁偏角设定功能都是在不测量时进行。

调试

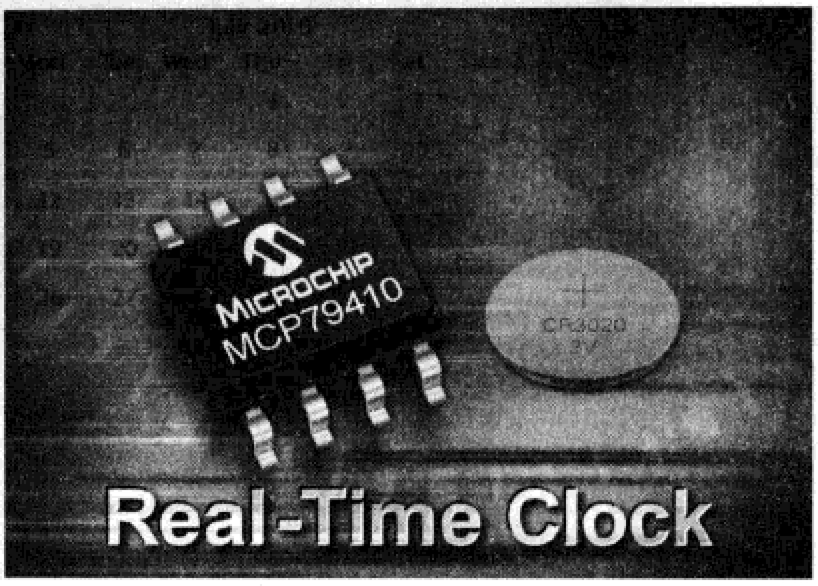
安装好后，仔细检查，消除肉眼可见的瑕疵，不插M8、液晶、罗盘模块和电池，插好USB线检查5V是否正常，正常后断开电源，电池充好电，插上电池合上S5，再次检查

微芯科技公司推出MCP794XX系列实时时钟/日历IC

美国微芯科技公司宣布推出其第一款独立IC实时时钟/日历（RTCC）系列。所有6个MCP794XX器件以低成本实现了高度集成，包括存储容量充足的片上EEPROM和SRAM。而且，EEPROM的用户可锁定部分可存储一个64位可编程惟一ID，即可以在出厂时就将一个MAC地址烧入其中。这些器件具备用于时钟校准的数字微调，以及在极低电压和电流条件下支持备用电源的电池切换功能。通过在一个器件中集成所有这些功能，MCP794XX系列不仅减少了元件数量，也降低了各种应用的成本。

上述器件的应用实例包括智能能源（如恒温器、电表和商用制冷），家用电器（如灶具、洗碗机和微波炉），汽车（如仪表板控制和汽车收音机），以及消费电子市场（如办公设备、灌溉控制和视频系统）等。

诸如摄像机和笔记本电脑等众多应用都需要一个有备用电源的实时时钟，以便在主电源关闭时维持时间和闹钟设置。在商业制冷、POS设备和安防系统等其他应用中，也需要一个具备电源故障监控功能的实时时钟来捕捉主电源发生故障的情况，并记录发生这一故障的时间段。凭借其片上电池切换电路和电源故障时间戳，MCP794XX RTCC器件可以实现这一功能，有助于解决涉及易腐货物储存或受管制场所出入监控等应用的系统正常运行、安全和安保问题。这些器件可以在订购时要求预烧写MAC地址，从而消除了生产



流程中的耗时步骤，而且数字微调功能可以支持软件温度补偿，与采用硬件进行温度补偿的器件相比成本更低。

开发支持

Microchip的MCP79410 RTCC PICtail Plus子板（部件编号AC164140）预计将于2011年2月提供。该子板可以与Microchip的Explorer 16开发板（部件编号DM240001）、PIC18 Explorer评估板（部件编号：DM183032）、PICkit串行分析器（部件编号DV164122）及XLP 16位开发板（部件编号DM240311）配合使用。（资料室）

电源，看WY1输出5V是否正常。完好后断电，拔下电池，插好M8和液晶，USB通电，应该右边显示“小小数字指南针”左边显示4个方位标记，见图6。断电，插好罗盘模块再通电，液晶正常显示，模块上的LED缓慢亮灭。按下S1，立即在液晶右边显示方位角，左边显示模拟指针，见图7。在方位角下面显示一个角度符号、冒号和0，是磁偏角默认值，再下面显示L:9表示校正值正常。这些都有了说明软硬件都没问题，可以正常工作了。否则需要进一步检查。液晶已经有显示，罗盘模块也亮灭，就是没有测量结果，那么是程序问题，可以编写临时测试程序，先不和模块通信，仅仅测试按键功能，都正常后再去掉临时程序，加上模块通信，在测试TWI通信时可以在写、读函数的每一通信步骤后加入不同的出错返回值，以便检查问题出在哪里。一般只要通信比特率设置不要太高（40 000也够用了），按规定步骤来是不会有问题的，再就是注意M8的初始化设置中，一定要使SDA和SCL为高，再开启TWI功能。

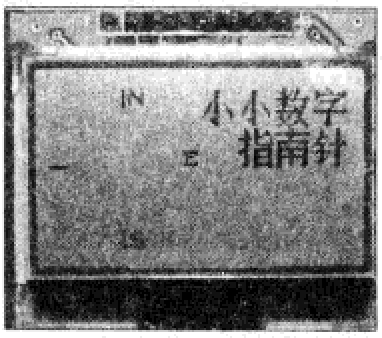


图6 不插模块通电时的显示

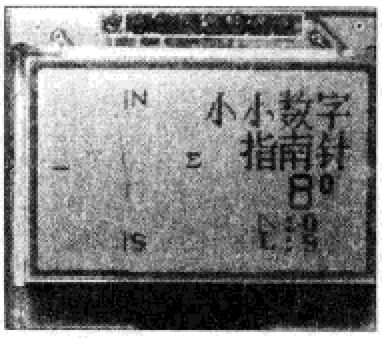
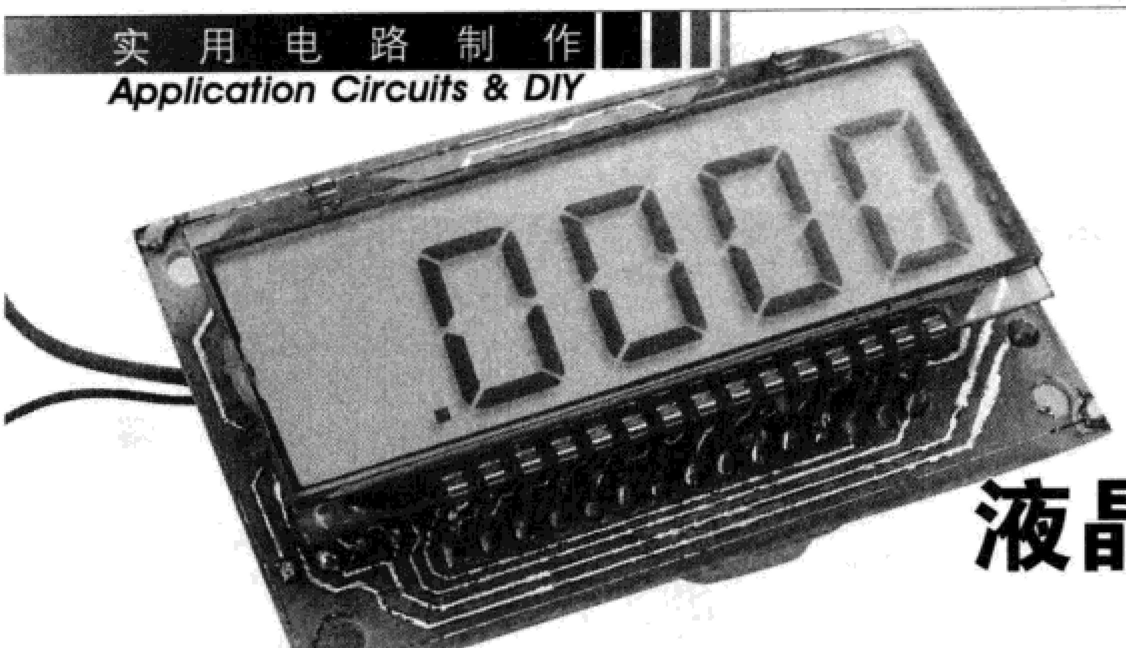


图7 开始测量后显示方位角、指针

使用

用USB电源没问题了，就可以使用了。拔掉USB插上电池组，打开开关，液晶显示，模块亮灭，如果不需要加入磁偏角，就不动S4，把小小电子指南针端平，按下S1，就指示方位角和模拟指南针了，最下面显示L:9表示不需要校正。按S2就停止测量。如需要加入磁偏角，就在停止测量时按S4，从0到6循环。如显示L:7以下，说明需要校正，方法是在停止测量时按下S3,模块的LED亮而不闪，进入校正状态，把指南针非常缓慢地以模块为中心转动一周，（需要慢到1分钟以上）再按S3，模块恢复闪光，校正完成。实际使用时一般不需要经常校正。

至此，数字指南针就制作成功了，如果用方位角数值驱动步进电机，那是不是会造就一个现代的指南车呢？



◎曾学明（BD1QMP）

自制4位半液晶数字电压表头

笔者最近在改造手上的锂电池充电器，改造过程中发现，常用的3位半万用表在20V挡位时的精度是±（0.5%+3D），用其测量单节锂离子电池充电截止电压时，误差为±(4.20V×0.005+0.03)= ±0.051V,而锂电池的充电截止电压误差的要求为1%，也就是0.042V。如果用误差接近极限偏差的3位半万用表调试充电器的充电截止电压，就有可能使充电电压超出锂电池的充电要求而损坏电池。因此，要调试锂电池充电器最好使用更高位数的万用表或表头。4位半表头可以显示的读数为±20000，比3位半的±2000高了一个数量级，按照4位半万用表的精度±（0.05%+3D）计算，测量4.2V锂电池电压时显示为4.200，精度可以达到0.12%，高于1%的要求。最近正好买到了MAX7129（ICL7129)芯片和配套的4位半液晶片，于是就做了个高精度的4位半液晶电压表头。

现在的4位半数字电压表头常用的芯片有驱动8段数码管的ICL7135和MAX1497、驱动LCD的MAX7129。其中ICL7135使用起来比较麻烦，需要外接LED译码驱动芯片和负电源，MAX1497比较贵。MAX7129是高性能的4位半A/D转换器，极限精度可以做到0.0005%，分辨率可以达到10μV，可以直接驱动配套的4位半LCD，而且外接元件简单，无需负压电路即可输入负电平信号，曾经是4位半万用表的首选芯片，用它制作4位半表头相对比较简单。为了减少引脚数，MAX7129驱动的液晶片采用了3个背电极，就是《无线电》2009第11期第77页图2那种。这种4位半液晶片可以在大的电子市场或淘宝网上买到。

原理

笔者制作的 4 位半数字电压表头的原理图见图 1。为了使表头具有通用型,笔者没有在电路板上设计分压电阻。

电路中，J2为电路板提供9V直流电源。Z1为TL431，输出一个2.5V

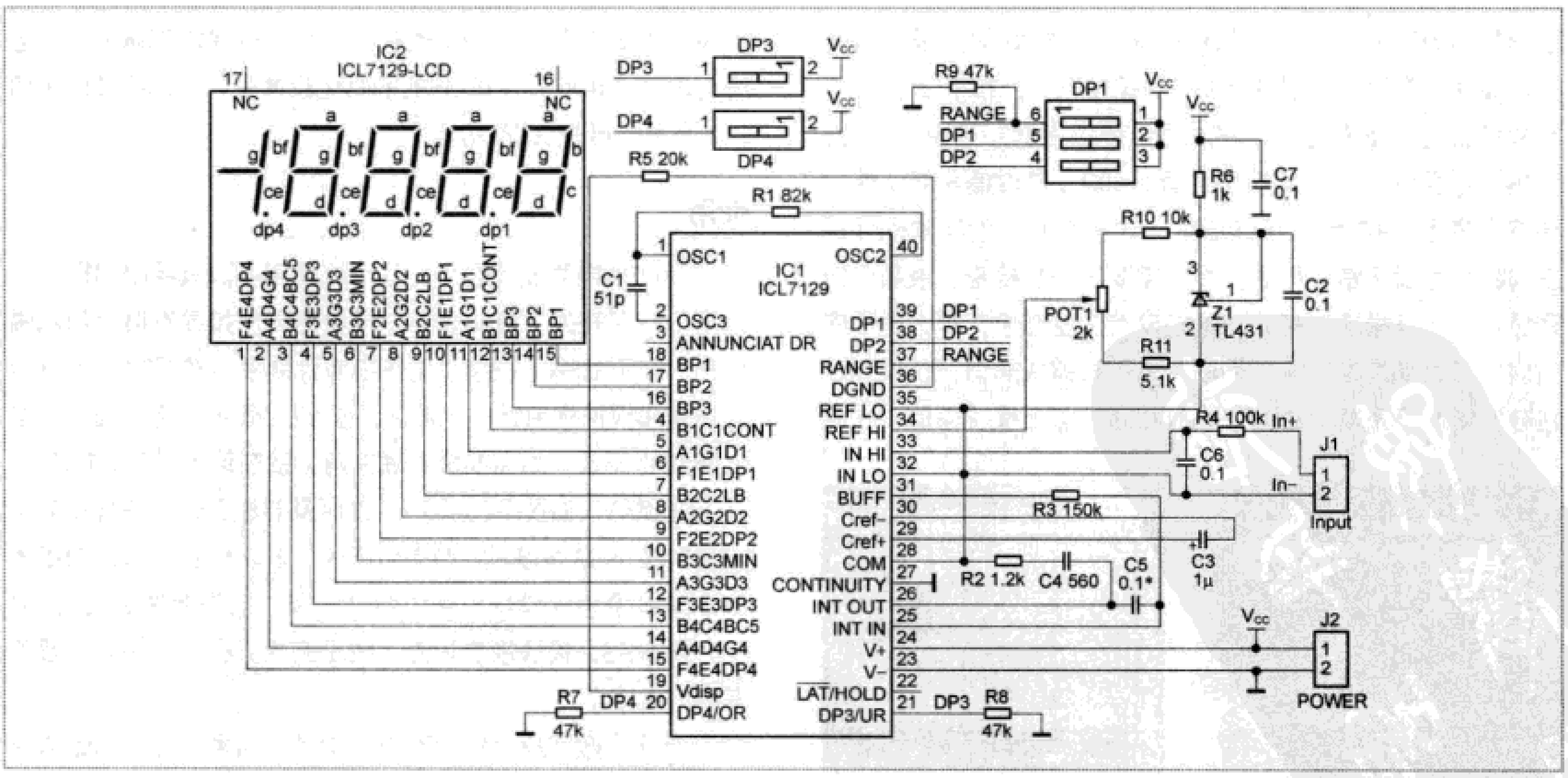


图1 原理图

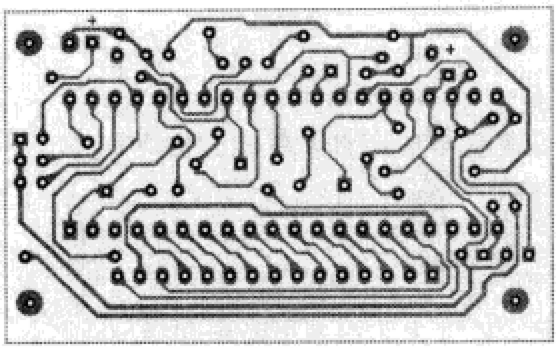


图2 布线

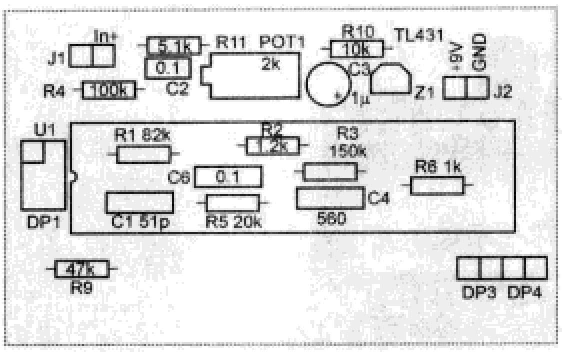


图3 顶层元件

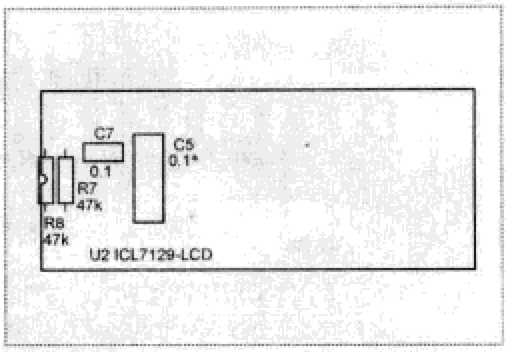


图4 底层元件

表1 元件清单

元件号	规格	描述	元件号	规格	描述	元件号	规格	描述
C1	51pF	瓷片电容	DP4	测试针	2芯排针	R6	1kΩ	1/8W 电阻
C2	0.1	独石电容	J1	Input	2芯排针	R7,R8,R9	47kΩ	1/8W 电阻
C3	1μF	50V 电解电容	J2	POWER	2芯排针	R10	10kΩ	1/8W 电阻
C4	560	瓷片电容	POT1	2kΩ	3296电位器	R11	5.1kΩ	1/8W 电阻
C5	0.1	涤纶电容	R1	82kΩ	1/8W 电阻	IC1	ICL7129	集成电路
C6	0.1	独石电容	R2	1.2kΩ	1/8W 电阻	IC2	ICL7129-LCD	液晶片
C7	0.1	独石电容	R3	150kΩ	1/8W 电阻	Z1	TL431	2.5V基准
DP1	测试针	6芯双排排针	R4	100kΩ	1/8W 电阻			
DP3	测试针	2芯排针	R5	20kΩ	1/8W 电阻			

电压基准，经电位器POT1分压后，为MAX7129提供1V基准。TL431的温度系数不是特别好，如果要追求更高的温度稳定性，可以采用AD586甚至MAX6325等高精度电压基准芯片。从J1输入的电压信号，经R4和C6滤波后送到MAX7129进行采样，输入信号可以为正，也可以为负。

R1、C1和MAX7129内部电路构成100kHz左右的振荡器。当振荡频率为100kHz时对50Hz电源的共模干扰抑制最好。使用RC振荡器只能达到100μV的分辨率，为了达到10μV的分辨率，推荐使用的是100kHz晶体振荡器。但笔者手上没有100kHz晶振，只能牺牲一定的分辨率，采用RC振荡器了。

在MAX7129的推荐电路中，第19脚液晶驱动端和第36脚数字地端是直接相连的。笔者在测试中发现，这样连接会导致在某些角度下液晶的所有字段都能看到。我通过增加一个20kΩ电阻R5解决了这个问题。大家可以根据自己买到的液晶屏灵活选用R5的阻值来调节显示字段的明暗程度。

原理图中MAX7129的第27脚接地了，此时“CONTINUITY”不显示。如果需要用到自动量程切换，可以使用此引脚输出信号去驱动量程切换电路。

制作

笔者做的PCB是单面板（见图2），元件为两面布置，MAX7129和大部分元件焊接在顶层（见图3），两个电阻和两个电容以及液晶片焊接在背面（见图4）。元件清单如表1所示。

焊接时，先在正面焊接好R1、R2、R3、R5、R6、C1、C4和C6。这几个元件位于MAX7129元件的下方，因此焊接时要尽量靠近PCB。接着把40芯的集成电路插座安放在正面。刚才焊好的元件不应与插座出现干涉情况。焊好插座后检查一下，是否有电容高出了插座，可以把高出来的电容引脚掰弯，让电容“躺”下，防止干涉MAX7129。焊好插座后，安装顶层的其他元件并焊接。焊接安装在背面的元件时，首先在PCB焊盘上直接焊接R7、R8、C5和C7，由于C5和C7位于液晶下方，需要卧式安装。焊接好元件的电路板如图5所示。

焊好背面的电阻和电容后就该焊接液晶片了。把液晶片引脚从电路板的走线面插进焊盘孔，调整液晶片的高度，直到其背面紧挨着电容C5，并与电路板平行，将其第1脚和第15脚焊好（2～14脚先不焊），调整好高度，然后把另外一边的两条引脚焊好。如果液晶的高度不合适或与电路板不平行，可以把某一条引脚的焊锡熔化后调节高度。最后把剩下的引脚都焊好。

调试

在将MAX7129插入插座前需要先检查电源引脚正负是否正确，然后连上9V直流电源，测试MAX7129插座的23、24脚电压是否为+9V。一切正常后，可以断开电源，插入MAX7129（见图6）。再次通电，此时液晶应该会有显示。用万用表测量MAX7129第34引脚电压，调节电位器，使万用表电压指示为1.0000V（用5位或更高位的万用表测量最好）。

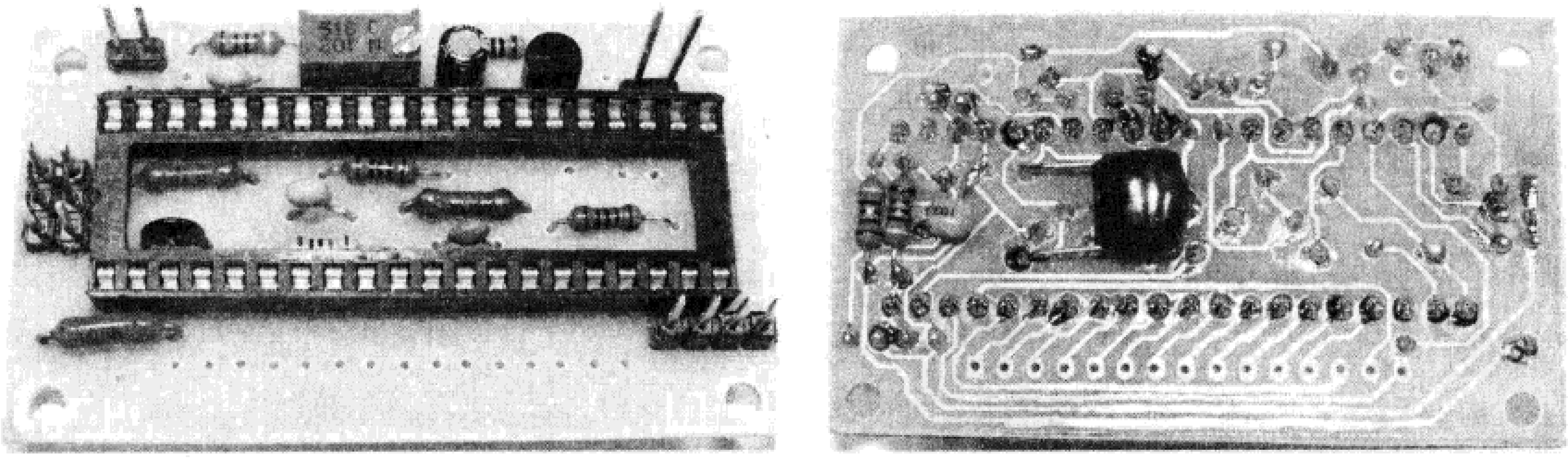


图5 焊接好的电路板

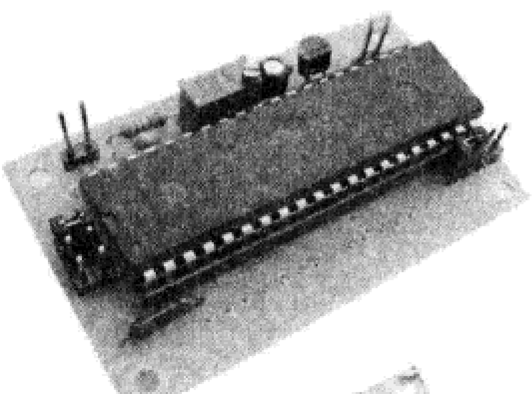


图6 焊接好的元件面

图7 测量输入第34脚时的显示

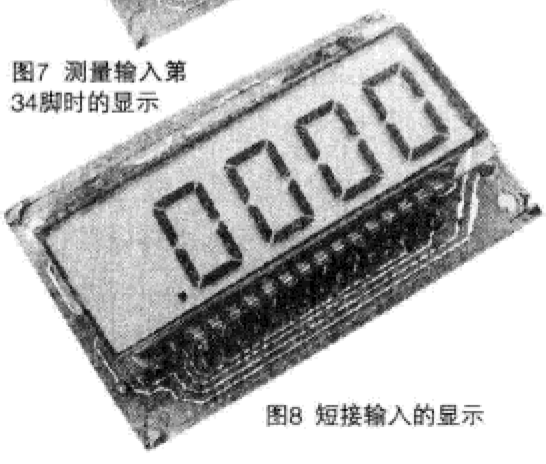


图8 短接输入的显示

tips

万用表的位数

经常有人提到3位半、4位半的万用表，它们分别代表什么意思呢?

数字万用表的核心是使用A/D转换（模拟/数字转换）功能，将模拟的电压/电流信号变为与标准值进行比较的数字，然后显示到屏幕上。决定其精度的核心在于A/D转换的位数和内部标准的准确程度。A/D最初有8位，发展到10位、12位、16位，现在还有双16位或24位的（A/D位数是二进制，比如10位A/D能覆盖1024个数值），由内部A/D决定了仪表的有效量程，10位的A/D最多能支持3位的LED显示，也就是最大到999。这就是3位的数字万用表。由于1999的显示在某些应用中有着很大的优势，比如测干电池的电压，1.496V和1.50V算是数量级的区别，这样就发展出了能显示1999的万用表。因为不能完整地显示4位数，就称它们为3位半。实际上很多万用表最大能显示3999（因为它们采用的是12位A/D，理论上能覆盖4096个数），这类万用表，正确的叫法应该是3又4分之3位万用表。至于4位半的万用表，应该最大显示19999。通常最大显示值越大，位数越多，表越高档。

满量程验证。将输入引脚J1的1脚和MAX7129的第34脚连接，此时液晶的显示应该指示为9998～10000，与10000偏差越大，说明C5性能越差，改用CBB电容效果将会更好。笔者采用0.1μF的涤纶电容时显示为9998，见图7。另外，C3的性能也会导致满量程误差偏大。如果出现满量程显示的值漂移或者误差太大，可以考虑更改C3电容的大小或改为CBB电容试试。

零点验证。将J1的1脚和2脚短接，此时显示应该为0000或－0000，见图8。设置量程，如果输入电压满量程为2V，那么需要将DP1的第一位跳线插上，如果满量程输入为200mV，那么只要保持DP1的第一位为空即可。

如果您的满量程输入为更高电压，那么就需要接分压电阻或电位器，然后根据需要灵活点亮不同的小数点。将DP1的下两位或DP3、DP4跳线插上，就会点亮0.0、0.00、0.000、或0.0000的小数点。如果您手中有2V以下的标准电压源，那么可以用来校准一下刚完工的表头。输入标准电压源，微调电位器,使显示值和标准电压吻合。校准后，笔者用HP34401六位半万用表对这个表头做了一下1V及满量程对比测试，结果非常好（见图9），全程误差均在1个字以内。至此，一个4位半的液晶数字表头就完工了，读者朋友配上合适分压电路就可以把它用做电流指示、电压指示的表头了。

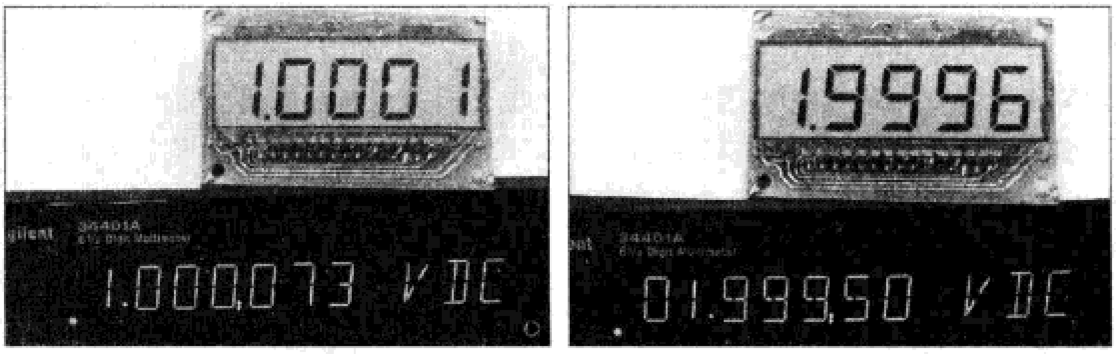
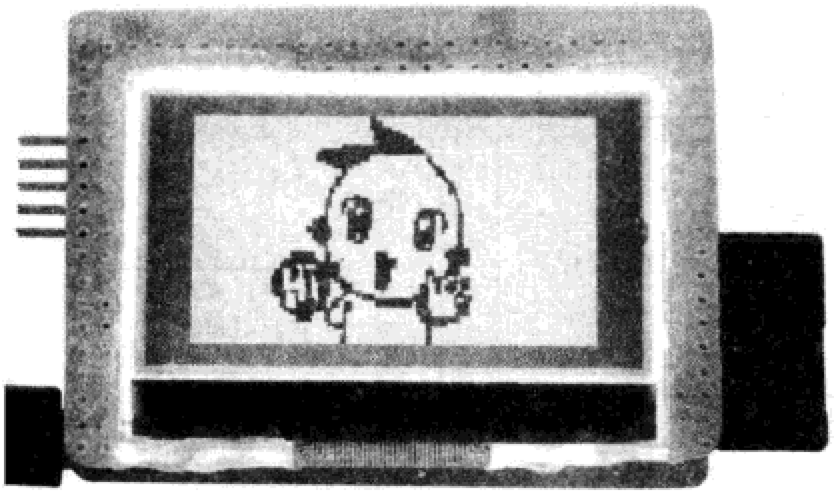


图9 与HP/Agilent34401六位半万用表对比测试

◎张彬杰

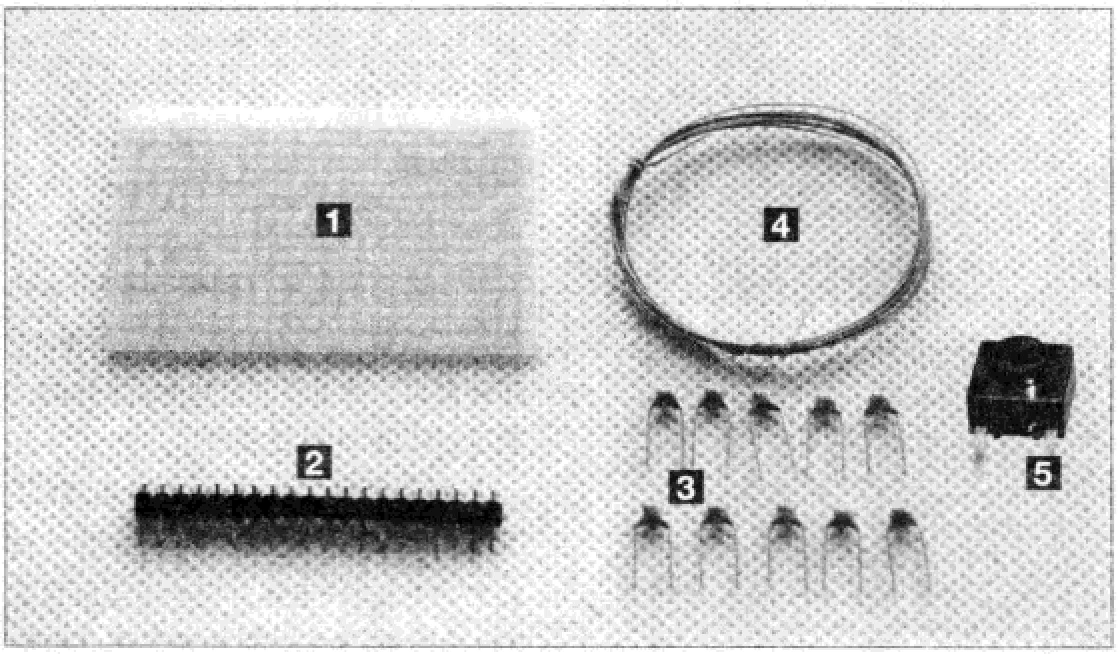


自制简易电子阅读器

笔者最近有了款新制作——简单的电子书阅读器，说它简易，一是因为制作简单，主要元器件只有128×64液晶屏、AVR单片机、存储卡；二是因为功能简单，目前只能实现txt格式文本文件的阅读和简单动画的播放。虽然简单，但让笔者感觉离亚马逊推出的价值不菲的Kindle电子书、心仪的苹果iPad更进了一步，呵呵。

电子书阅读器的主要元件由128×64液晶、SD/MMC卡和AVR单片机3个部分组成。128×64液晶屏用于显示汉字、符号点阵、显示动态图像。SD/MMC卡用于存储BMP格式的图像文件、txt格式的文本文件和txt格式的配置文件。AVR单片机用于读SD卡的文件。如果读入的是图片文件，还可同时载入txt文件内的帧速配置，产生指定的时间中断，使静态的连续图片动起来。SD/MMC卡用于存储txt格式的文件。如果读取的是SD卡中的文字内容，则可通过读取字体（可以是宋体、楷体、黑体等）文件中的点阵数据，在液晶上显示文字和字符。

所需元器件及材料（见表1）



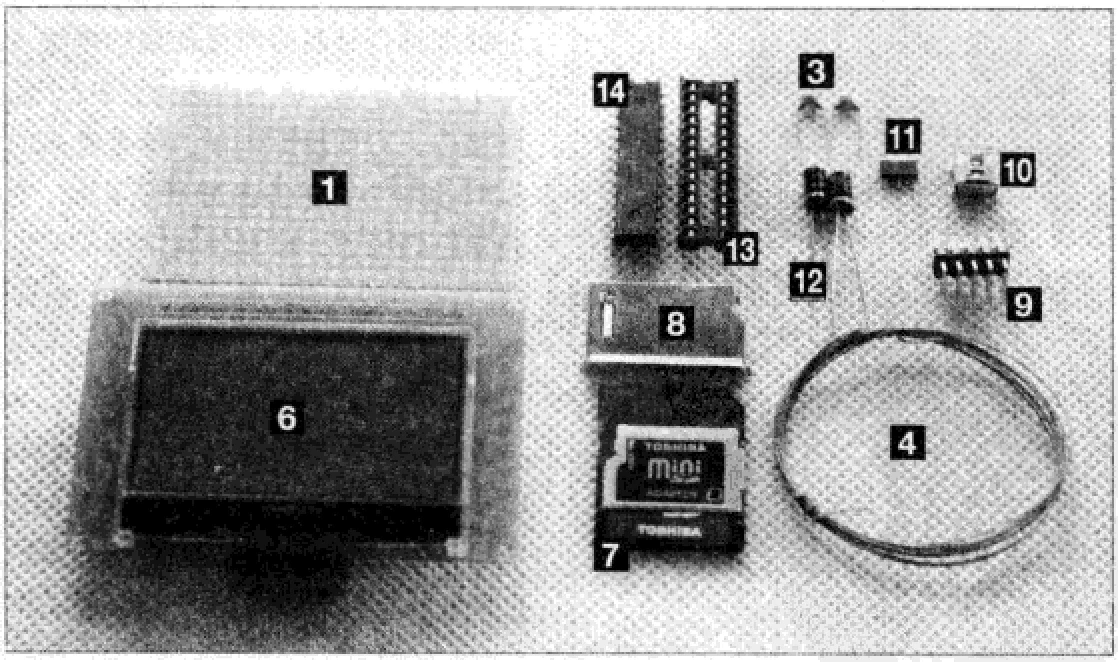
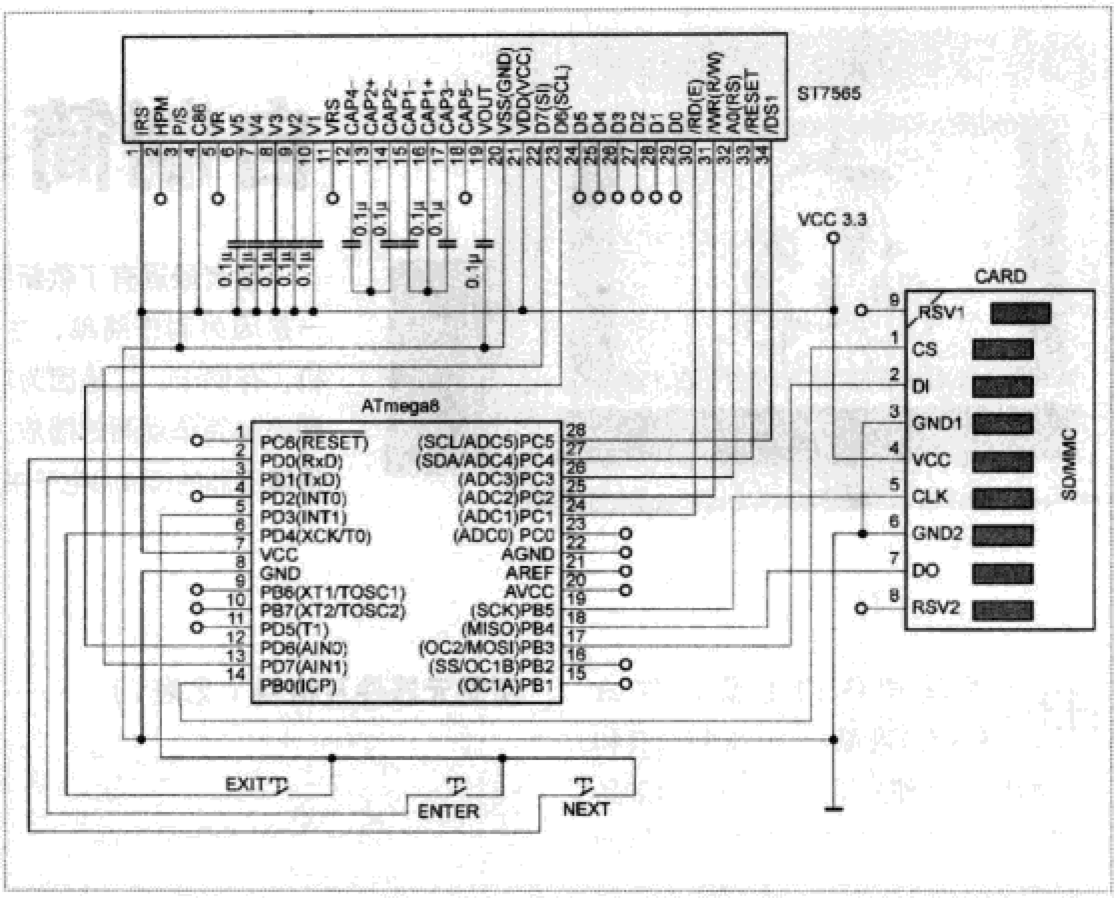


表1

编号	零件名称	数量
1	万用板	2
2	插针	20
3	0.1μF独石电容	12
4	绝缘导线	1m+1m
5	微动按钮	3
6	液晶模块	1
7	16M的SD卡	1
8	SD卡插座	2
9	ISP下载插针	1
10	USB插座	1
11	1117-3.3稳压芯片	1
12	10μF电解电容	2
13	M8单片机插座	1
14	M8单片机	1

如果要播放动画，电路中的3个按钮要全部断开。在电路通电后，程序通过读取txt文件的参数，指定动画播放速度，如10f/s，即每秒10张图片的播放速度。如果图片不符合播放要求，可以使用操作系统下的画图工具转换或使用其他图像处理软件处理。

如果要显示文字，使用前要先将SD/MMC卡格式化成FAT文件系统或者FAT32文件系统，然后将喜欢的字体文件（后缀名为dot）复制到SD/MMC卡内。通电后，程序自动读取SD卡根目录的文件信息。通过第3个按钮选择txt



电路原理图

文件。选择好文件，即可用第2个按钮阅读。当看完一页内容，即可用第3个按钮翻页。当你想浏览其他txt文件时，就可以按第1个按钮退出了。

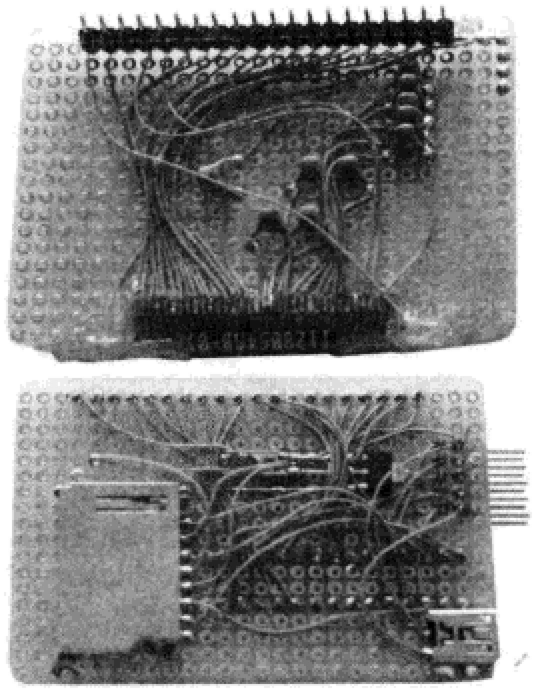
播放器使用USB插头供电或ISP下载线供电。电源转换只使用一片1117-3.3及4只电容，把电源电压稳定到3.3V。笔者买过两款液晶屏，控制器都是ST7565，都可以使用串口传输数据，能节约引脚，读者制作时任选一款即可。液晶屏原来使用软排线，为了焊接方便，笔者用插针引出7个插针接口，方便后期制作。笔者选用的ST7565控制器的液晶屏不带字库，支持串行口操作。虽然没有字体，但是在SD卡中放入自己喜欢的字体，就可以用于字符的显示。因此读者制作时也可以挑选没有字库的液晶屏。

电路中，笔者选用了AVR的M8单片机作为控制器。它可以工作在3.3V的电压下。它有1KB的内部RAM及8KB的FLASH程序存储空间。M8最高可工作于16MHz速度，它的硬件SPI接口最高可工作在二分之一的系统速度下。制作时焊接个SD/MMC卡槽，方便使用SD/MMC卡。由于系统自带8MHz的RC振荡器，此次制作又不需要太高的工作速度，所以就省去了外部晶振。

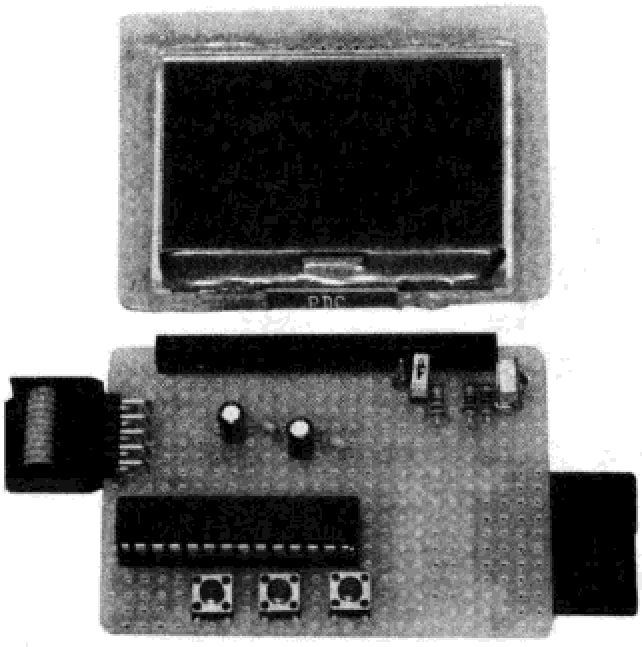
液晶屏需要10个0.1μF的电容进行升压，产生驱动液晶的负压。其他元器件都是直接用导线连接的。3个按钮中，第1个按钮用于退出文本阅读，第2个按钮用于进入TXT文件，第3个按钮用于选择文件或翻页阅读。在实际的制作过程中，笔者使用了绝缘线焊接，大家也可使用漆包线焊接。

电源使用USB充电器或者电脑的USB接口供电，经过1117-3.3稳压后，转换成3.3V电压。液晶屏、SD卡必须用3.3V供电，因此建议AVR单片机也是3.3V供电。如果读者朋友有3.3V的电源或3.3V的电池，也可以直接使用，不用电源转换了。简单的电源转换原理图可见2010年第6期杂志第77页。

笔者使用ISP下载线对单片机进行程序读写和更新。下载口共10根插针，



反面



正面

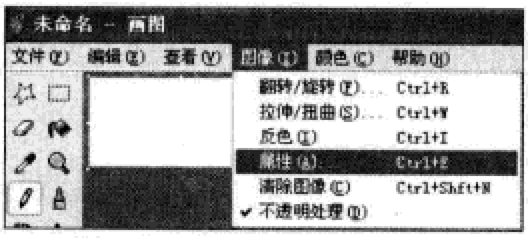
制作完成后的电路实物

其中 4 根和单片机连接，2 根用于供电。如果要使用 ISP 下载线中的电源（2 和 10 引脚）供电，也要经过 1117-3.3 稳压，再给单片机和 SD 卡供电，以防止过高的电压损坏液晶屏或存储卡。

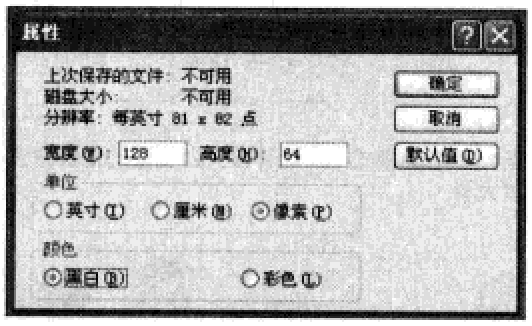
如何用于动画播放

1. 通过ISP下载线或编程器，烧录已经编译好的程序，烧录文件在文件夹里。

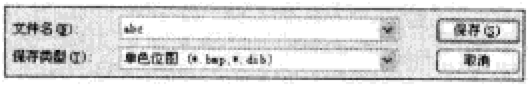
2. 在WinXP系统下使用FAT或FAT32文件系统格式化存储卡。



【1】选择图像属性



【2】修改分辨率、单位和颜色



【3】另存为单色位图即可

3. 复制符合要求的BMP文件到存储卡的根目录中。如果图片文件不符合要求，可以使用系统自带的画图软件修改参数，然后另存为128×64或64×128的BMP位图。

4. 当然啦，如果自己想自定义一些文字图形，画图工具就不能满足自己的要求了，需要使用 PHOTOSHOP 等图像处理软件制作。

通电后，动画会在液晶屏上循环播放。如果感觉播放的速度较快，可以适当降低帧数。帧数参数保存在 txt 文本文件中，文件名可以任意，但后缀必须为 txt。具体的帧数参数为 1 或 2 位数字，数字后的内容不限，因为，程序只读取文件开头的 2 位数字。如，文件内容为 5f/s，程序会自动读取 5 这个参数，然后，经过相应的转换，播放器就会以这种速率播放影像了。

如何用于阅读文本文字

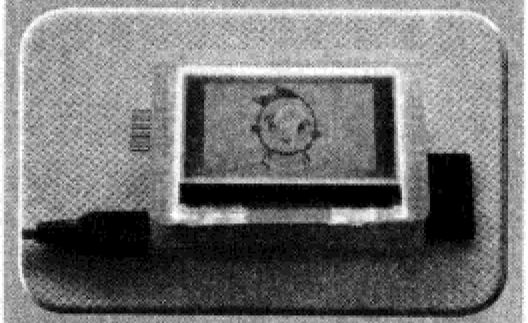
1. 在 WinXP 系统下使用 FAT 或 FAT32文件系统格式化存储卡。

2. 复制喜欢的字体到存储卡的根目录。最后，复制txt文件到根目录。

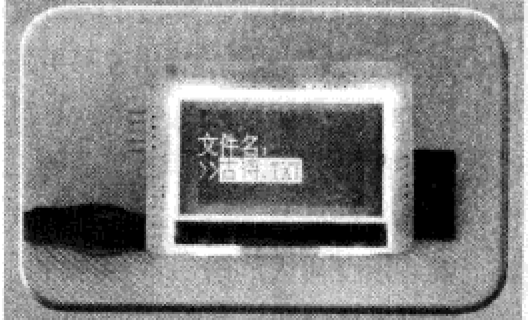
通电后，需要通过选择按钮（第3个按钮）选择txt文件。选定文件后，按进入按钮阅读（第2个按钮）。按翻页按钮阅读下一页（第3个按钮）。最后，按退出按钮返回（第1个按钮）。

未插入存储卡

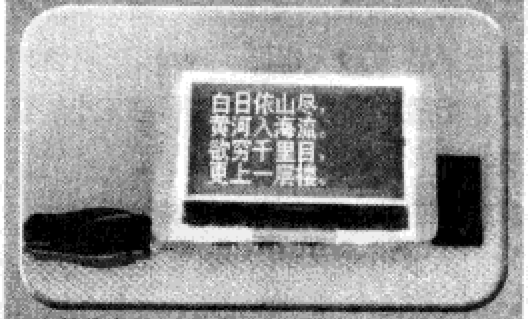
插入存储卡



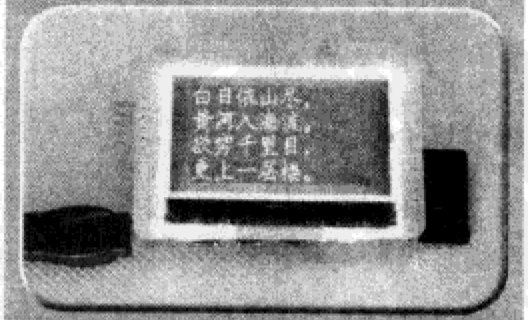
显示动画



读取txt文件



黑体字显示



楷体字显示

常见问题

1. **问**：液晶屏电路不加9个电容可以吗？

   答：可以的，但你要在液晶屏的VOUT端接上－10V左右的负压。

2. **问**：配置文件是怎样的呀？

   答：配置文件就是文本文件，在第一行里键入1或2个数字即可，数字代表的是播放的速率，单位是f/s。

3. **问**：图片是黑白的吗？支持多大的？

   答：图片是黑白的，可以支持128×64或64×128的大小。

4. **问**：可以直接用USB电源，省略1117-3.3电源稳压吗？

   答：不可以的，因为LCD及SD卡的电压都是工作在3.3V的电压。

新器件试用台

轻松打造USB声卡

PCM2900与MAX9728的完美组合

◎任杰

在本刊第4期中，笔者介绍了用TI公司的音频编解码器PCM2912制作的USB声卡，感觉效果非常不错。随后，笔者又购买了PCM2900等芯片，想继续体验DIY声卡的乐趣。这一期，笔者将介绍使用音频编解码器PCM2900和耳机放大器芯片MAX9728组合制作的一款USB声卡。

PCM2900曾经在《无线电》杂志上介绍过，作为音频DAC使用，尽管THD+N比起停产的PCM2702要逊色一些，但是价格便宜，并且一般人的耳朵也没那么好的分辨能力。与PCM2912不同的是，PCM2900内部没有集成输入的话筒放大器和输出的耳机放大器，所以用它制作声卡，需要外部放大电路。

通常情况下，输出端由运算放大器构成耳机放大器，这个放大器兼具低通滤波的功能，上限截止频率在22kHz左右，使得DAC的输出波形更加平滑。为了不使用额外的电源，尽可能使用USB总线供电，运算放大器要工作在单电源的模式下。如果输出端共地，就必须使用大的输出耦合电容。这不仅增大了体积，并且对低频响应或多或少存在一些影响。图1为常用的低通滤波放大电路，R2与R5阻值相等，运放的同相输入端获得VCC/2的直流电位，C4的容量根据负载（耳机）的阻抗在几十到几百微法之间选取。

本次介绍的声卡使用了MAXIM公司的专用耳机放大器MAX9728，最大特点就是在单电源供电的情况下，能省去大尺寸的输出耦合电容。

器件简介

MAX9728是MAXIM公司推出的线性耳机放大器，采用了拥有专利的DirectDrive结构，基本原理是在芯片内部使用电荷泵生成负电压，这样一来，原来以$V_{CC}/2$为参考的输出变成了以地为参考的输出，也就是输出不包含直流分量，从而不需要大的隔直电容。MAX9728内部的低噪声电荷泵开关频率高达270kHz，远离音频频段，一方面使MAX9728做到了较低的*THD+N*（0.02%），另一方面使得电荷泵所需的电容容量可以小到1μF。当输入信号为音频DAC的输出信号时，MAX9728也可以和运放一样配置成二阶低通滤波放大器。

电路参数选择

我们知道，人耳朵所能听到的频率范围为20~20kHz，而音频DAC的输出为台阶状的信号，包含了高频的谐波分量，因此，在对这一信号放大的同时，需要将高于20kHz的高频分量尽可能地滤除，但是考虑到滤波器不可能是理想的，因此一般选取比20kHz略高一点的频率（如22kHz）作为滤波器的上限截止频率。由于MAX9728内部生成负电压，并且可以和运放一样配置成反馈滤波器，所以在选择滤波网络元件参数时，可以使用运放相同的分析方法，使用仿真软件来确定。

图2为使用Multisim仿真的电路图，各参数如图所示时，由图3、图4截屏获得的波特图可以看出，放大器的上限截止频率为22kHz左右。在实际电路中，对MAX9728采用相同的元器件参数即可。

电路原理

本次制作的USB声卡完整电路如图5所示，包括PCM2900和外围电路构

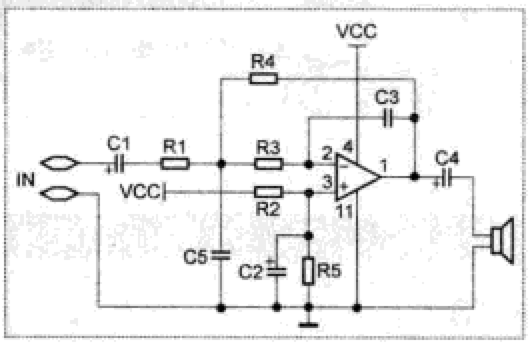


图1 单电源模式下由运算放大器构成的低通滤波放大器

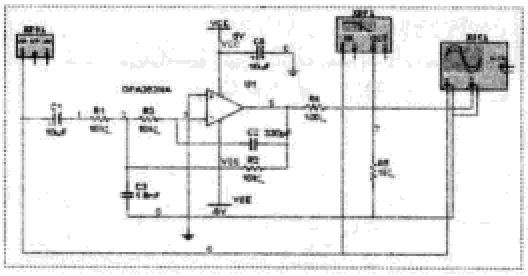


图2 使用Multisim对滤波器的仿真电路图

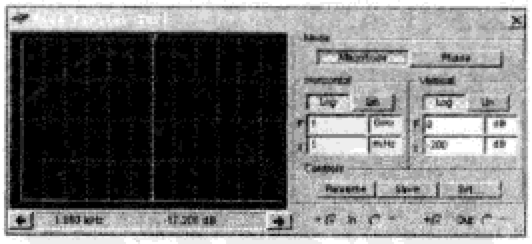


图3 仿真结果一（通带增益）

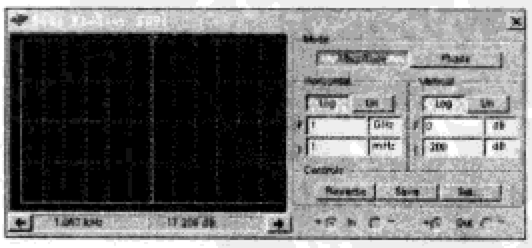


图4 仿真结果二（截止频率）

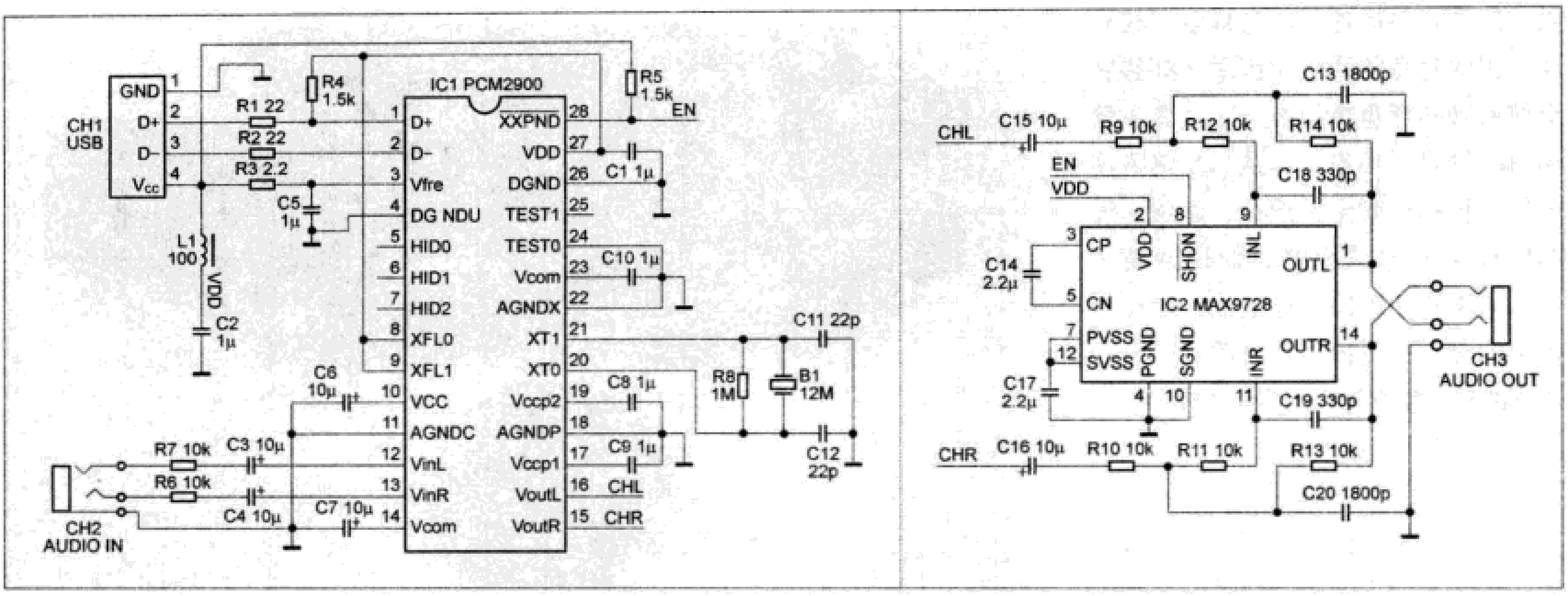


图5 电路原理图

成的音频编解码部分和MAX9728构成的低通滤波放大部分。PCM2900具有音量加减及静音控制功能，但笔者嫌开关占电路板面积太大，所以这些都没有使用。另外，由于没有打算使用音频ADC部分，因此没有设计话筒放大电路和输入预滤波电路，只简单地连接了一个音频输入接口。

USB总线电源的噪声比较大，如果作为音频放大器的电源，一般要进行线性稳压。但是MAX9728的电源抑制比较高，因此这里只简单地使用了磁珠和电容对电源进行退耦处理。按照图2的仿真参数将MAX9728配置为二阶低通滤波器，通带增益设置为0dB（1V/V）。实际证明，用于驱动耳机，这个放大倍数是比较合适的。

元器件选择

在电路中，电容元件的数量是比较大的，它们在电路中扮演的角色不尽相同，如果按“发烧级”的追求，选择什么样的电容器其实是很有讲究的。最具代表性的是音频耦合电容，很多发烧友不计成本地对各种品牌的电容进行尝试，并且以牺牲电路板的尺寸为代价装上体积巨大的薄膜电容，甚至金属介质电容。笔者没有条件去追求这些，并且对小巧的东西情有独钟，所以所有电容一律使用0805的贴片陶瓷电容或钽电解电容。这里用的磁珠还是直插式的封装，因为画这块PCB之前我还没有找到贴片的，后来发现磁珠也能做到0805的贴片封装，已经晚矣。

PCB的制作

说实话，这次的PCB设计得比较失败，不仅布线不规整，就连制作PCB的厂家也开了笔者一次不小的玩笑。这次的PCB笔者同样是和其他板子拼凑到一起的，但是厂家这回没有在分界处打孔，于是笔者只能凭借一块刀片费尽九牛二虎之力才把板子给割开，结果当然就是PCB被折腾得惨不忍睹。

尽管电路不算复杂，但要做到合理而又美观的布局和布线也是要下一番功夫的。笔者这次的PCB是比较粗糙的，可能对最终的声音效果产生一定的影响。如果使用Protel99SE来设计PCB，那么这个制作里很多器件的封装是需要自己画的，画的时候一定要自己对照数据手册里的封装数据来设置，特别是贴片IC，稍有偏差，做出来的板子可能就成了废品。

焊接与使用

PCM2900与MAX9728采用的都是TSSOP系列的封装，引脚间距只有0.65mm，手工焊接是有一定难度的，相信很多爱好者都有自己的独特的焊接小技巧。笔者在焊接这类器件的时

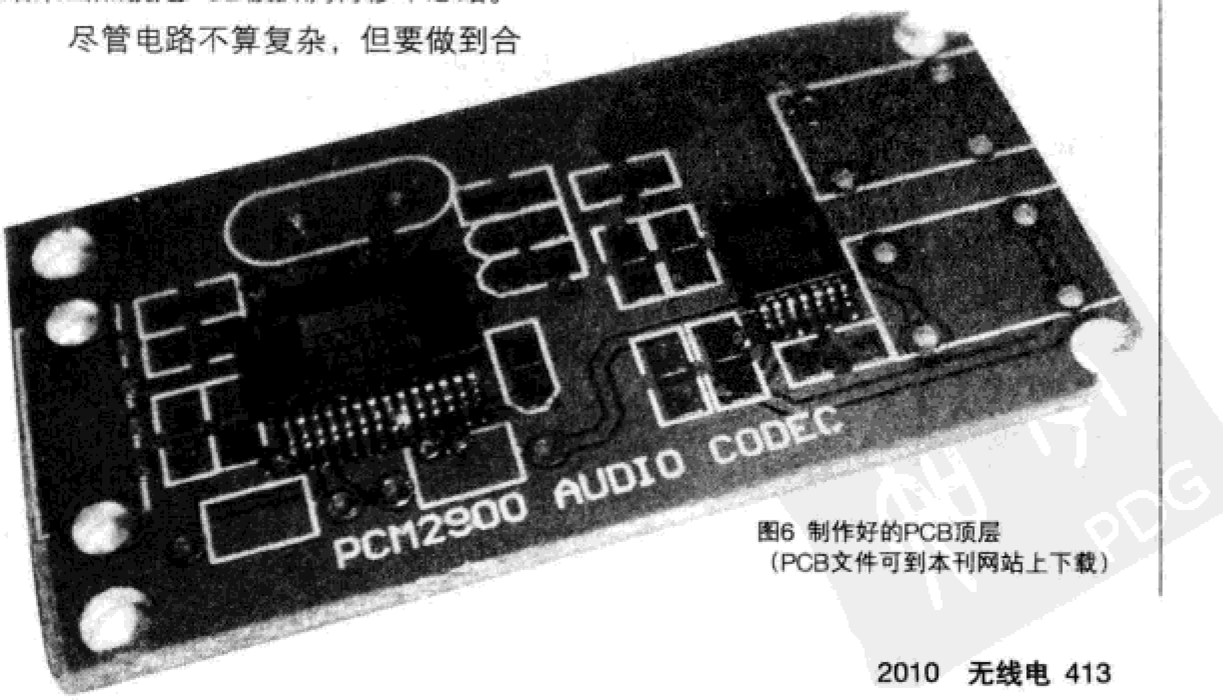


图6 制作好的PCB顶层
（PCB文件可到本刊网站上下载）

候一般是先将器件引脚与焊盘严格对准，固定对角的两个引脚后用焊锡将全部引脚与焊盘焊接在一起（先不管相邻引脚是否相连），最后用烙铁将芯片一侧的引脚全部熔化，趁锡还没凝固前拿起电路板往桌面快速磕一下。如果时间掌握得好的话，就能把多余的锡全部甩掉，并且焊点十分结实（图6为笔者焊接好芯片的板子）。最后完成的声卡见图7。

与PCM2912一样，在Windows XP及以上的系统上使用这款声卡，均能被识别并自动安装驱动程序，并且默认为优先使用的声卡。

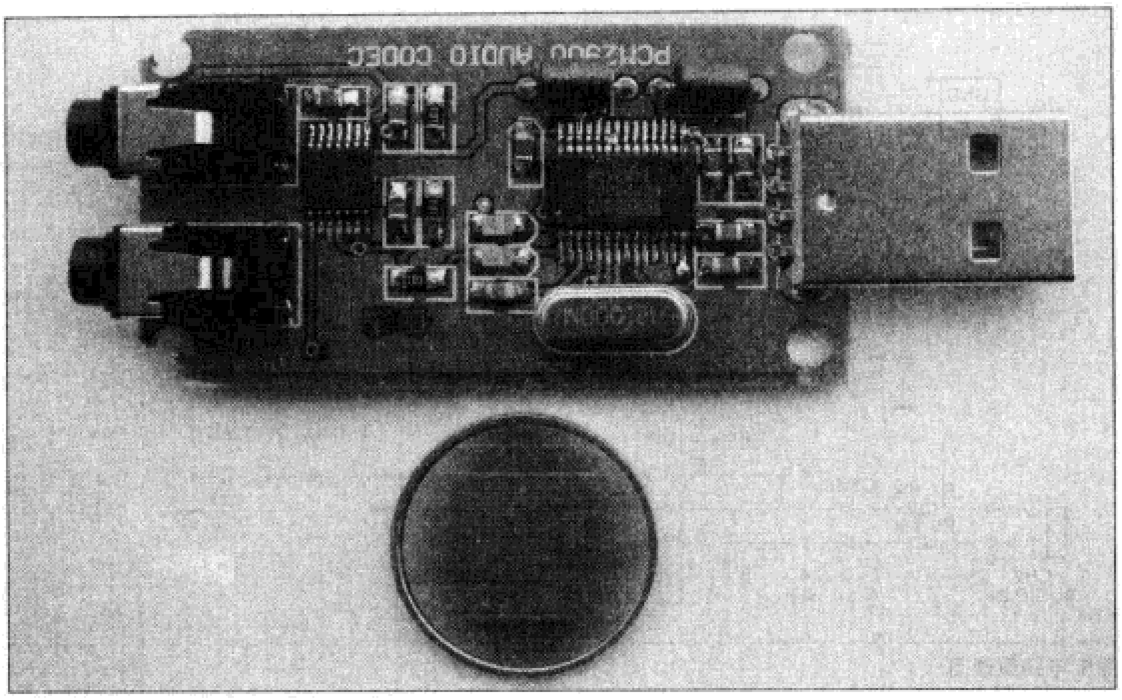


图7 完成的USB声卡

插上耳机，打开音乐播放器，反复地比较本次制作的声卡与PCM2912制作的声卡的声音效果，感觉上没有听出什么差别来。最后，在一曲完毕下一曲还没开始的时候将声音开到最大，结果在使用本次制作的声卡时听到了轻微的底噪声，而使用PCM2912的声卡时却完全没有听到。笔者怀疑是PCB布线上的问题，因为MAX9728构成的线性音频放大器推荐采用单点接地，而笔者为图简便直接使用了大面积敷铜接地。

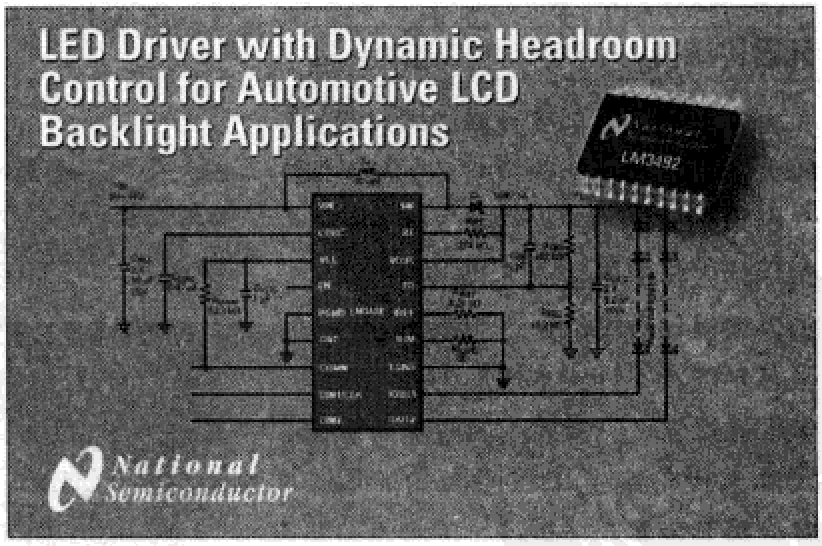
尽管这次制作的声卡效果并不特别理想，但这是笔者第一次将TI与MAXIM两大IC厂商的产品结合起来使用，作这类新的尝试，感觉很爽！

固纬电子推出数字示波器GDS-3000系列

固纬电子正式推出全新 GDS-3000 系列数字示波器。此系列产品提供功能强大的波形侦测工具，可简化日趋复杂的开关电源电路设计与混合信号设计的侦错。该系列数字示波器具有 5GSa/s 高速实时采样率，包括 VPO 波形技术、分割窗口工具、开关电源功率测试、串行数据总线自动译码等多项标准化测试功能。GDS3000 系列的频宽可达 350MHz，与现有的 GDS2000、GDS1000 和 GDS1000A 示波器系列机型一起，为电子工程师构成功能齐全、价格经济的示波器产品线。

NS推出全新LED驱动器LM3492

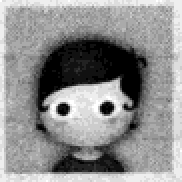
美国国家半导体公司推出型号为LM3492的具有动态电压调整功能的LED驱动器。该产品可同时准确高效地驱动两组独立的可调光LED灯串，大幅提高系统效率，降低系统复杂度及汽车LCD背光应用的系统成本。LM3492具有动态电压调整功能，可以利用升压转换器的反馈电压灵活调整LED的供电，确保最低的耗电等级，从而优化系统效率。LM3492芯片具有多功能COMM引脚，可作为连接外置微控制器(MCU)的双向输入/输出引脚，实现指令与诊断功能。



<< 上一主题 | 下一主题 >> . 118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>   回复 新帖

DIY数字电桥（来自矿石收音机论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



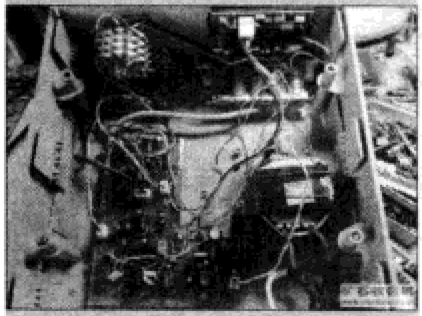
整理：草音

加入日期：2010-06-18

帖子：666

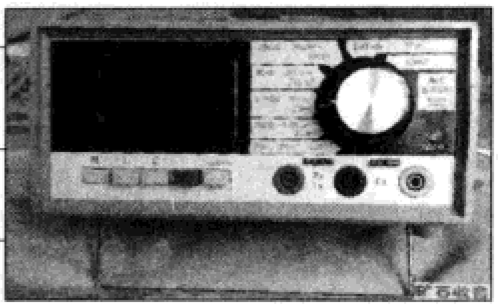
LCR数字电桥是测量元器件基本参数的测量仪器，通常可测电感L、电容C、电阻R的各项参数。成品的LCR数字电桥根据测试频率的高低、基本精度的高低、测量参数的多少及测量范围的大小等因素，常分为不同的等级，常见的品牌有Agilent、同惠、稳科、固纬、日置等。很多数字电桥都采用单片机等微控制器来进行设计，能有效提高产品精度，增加产品可靠性。

近日，我在网上“闲转”，发现一个DIY数字电桥的作品，全部采用模拟设计，电路虽然有不足之处，但制作实践性强，而且讨论过程精彩，让我学到不少知识，特推荐给读者。



内部电路实物

金枪鱼：我设计制作了一台LCR数字电桥，因为之前还不会玩单片机，所以是全模拟设计。测量范围（最大满量程、最小满量程、最小分辨率）为：R—2000kΩ、20Ω、0.03Ω，L—2000mH、200μH、0.3μH，C—2000nF、200pF、0.3pF。虽然设计有20MΩ挡，但实际制作完成后，该挡几乎无法使用，故视同没有。俺主要玩高频的东西，因此挡位设计倾向于小电容和小电感，内部的测量频率为8.7kHz。如果倾向于测量大的电感和电容，可把测量频率降至100Hz左右。其实，从数字电桥的工作原理上讲，用单片机来制作，会有更好的效果和更强大的功能。



作品外观

没钞疯：做得真的不错呀！单看外观，与厂机无二。

光说不练：测试频率多少？

金枪鱼：测量频率实测为8.7kHz，因测量电压仅100mV左右，所以可以直接把二极管接在电容测试端口，直读其结电容！

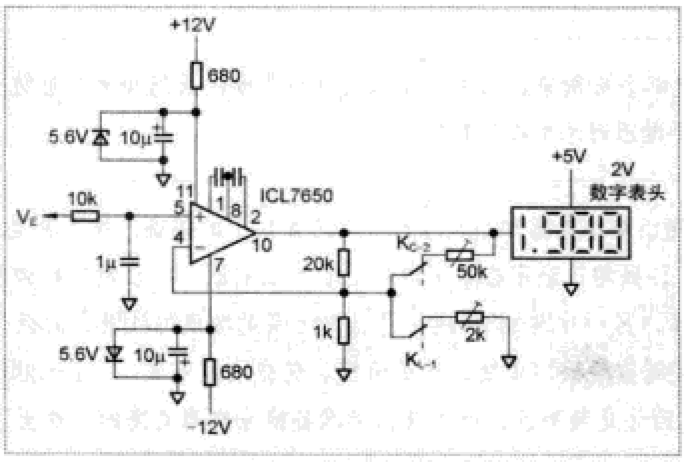
海河：跟楼主请教，这个怎么保证被测电感的自身直流电阻和电容的漏电电阻不影响结果呢？

金枪鱼：实际做好后，测电阻的精度可以保证在1%以内，如果有标准电感和电容校准的话，LC参数的测试精度应该也可以做到2%以内。测量信号的整流是靠鉴相器，这个鉴相器的线性度可以做到80dB以上，远优于任何非鉴相式整流电路。但因为是非对称设计，正交抑制比仅能做到不足20dB，所以在测量正规参数（RLC值）时，精度是可以保证的，但如果测量感容损耗的话，几乎不太可能得到理想的数值。如果测量非无感方式绕制的线绕电阻，在基本挡位（比如1kΩ的电阻在2kΩ挡或20kΩ挡测量）上可以得到正确的读数，但在200kΩ或更高挡位上，则会出现异常读数！

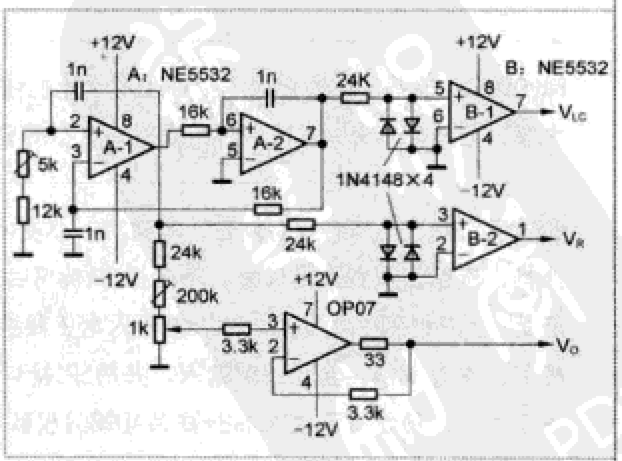
海河：谢谢楼主耐心解答，恕我愚钝，我还是不太明白（可能是我的问题说得不太明确吧），我也早想弄一个交流电桥了，但就是碍于其中的理论问题没有解决。现在电容的质量都比较好，所以就先忽略，单说说电感吧。一般电感的自身直流电阻从几欧到几千欧不等，所以不能忽略。交流电桥的平衡条件是矢量的，即阻抗比相等，电阻比也要相等。从数学的角度来说，就是复数的实部与虚部都满足平衡条件，电桥才能平衡，我就是受困于这个基础的理论问题。

感觉AV：正负12V电源功率不对称，负12V电源只能提供1W的功率。

金枪鱼：整个电源的功耗在5V，数字表头耗电在130mA以上，而6片运放加起来的耗电也不足50mA，用不对称的正负电源设计是没问题的。我因为没用单片机，所以数字电桥的结构只能采用最简单的半桥式设计。原理见图1～图5。



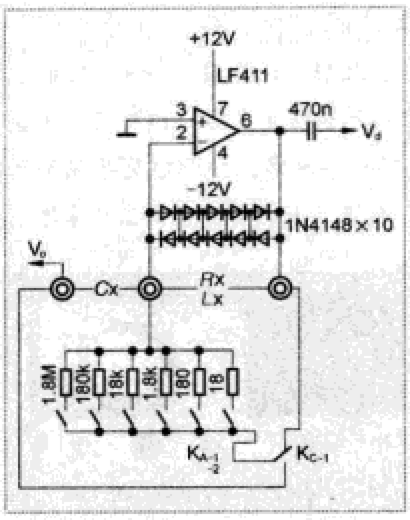
鉴相器和数字显示部分



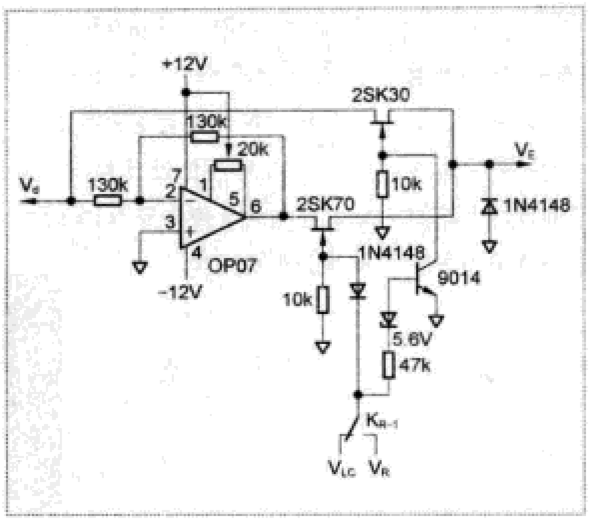
信号源部分

<< 上一主题 | 下一主题 >>   118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>   回 复   新 帖

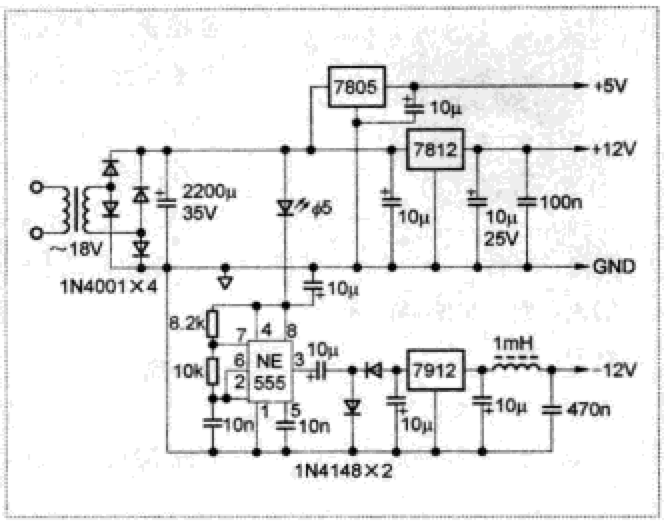
DIY数字电桥（来自矿石收音机论坛）   收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



电桥（半桥）部分



放大器部分



电源部分

海河：对应电路图里的开关K，您的实物是哪个开关？

金枪鱼：原理图中的“K”在我实物电路图里是没有的！被简化掉了。电路设计中，假设了源信号是恒定的，所以不用开关切换了。如果是单片机的设计，加上这个“K”会大大丰富电桥的测量功能。

Qzlbwang：正交鉴相的性能对整个仪表的影响很大!你的用OP07是否速度太慢？用场管切换效果也不是太好，用继电器是否更好呢？这里切换次数不会多吧。呵呵，如果用单片机的话也就不用切换了，反正都要输入进去运算的!

金枪鱼：用数字电桥的方式测量RLC的优点在于：测量元件基本参数时，可以有效地排除其品质因数的影响，线性度非常好！好在鉴相器的正交抑制能力比较差，并不妨碍RLC基本参数的测量！所以，个人看来，这个数字电桥还是很实用的，毕竟要买个成品的数字电桥往往也要上千，而个人真正所用的功能也不过如此。OP07是慢些，但OP37太不稳定。最好的方式应该是用高频变压器结合场效应管开关。2SK30在这里并不是一个好的选择，有条件改进的话，应该用结电容更小的管子!

Qzlbwang：不好意思，图没看仔细，怎么可以用继电器呢？信口瞎说!应该挨拍砖!在此向楼主低头认罪。嘻嘻，楼主宽宏大量，没好意思说俺。谢谢啦!同意楼主上述观点，用模拟开关来切换应该不错。替楼主回答某些坛友的疑问：测L和C时是取出虚部信号分量（也就是和输入信号相差90°的分量），只有电感（或电容）才有此分量，而其电阻成分只影响实部（和输入同相分量），这正是此方法区别于一般测L（或C）的妙处。

Mike：好。谢谢金枪鱼的图。半桥部分没看懂，可否详述一下。谢谢！

金枪鱼：数字电桥里的所谓“电桥”充其量算个半桥，其实就是个运放的反相放大电路。单片机控制的电桥都是采用恒流方式测量的，就是RLC元件全都是用同一对接口测量，而不是像我这个电路这样，测RL时是恒流法，而测电容时却采用恒压方式，另用一个测量口。数字电桥都是“半桥”结构的，没有全桥式的，只有老式的手动电桥才是“全桥”！

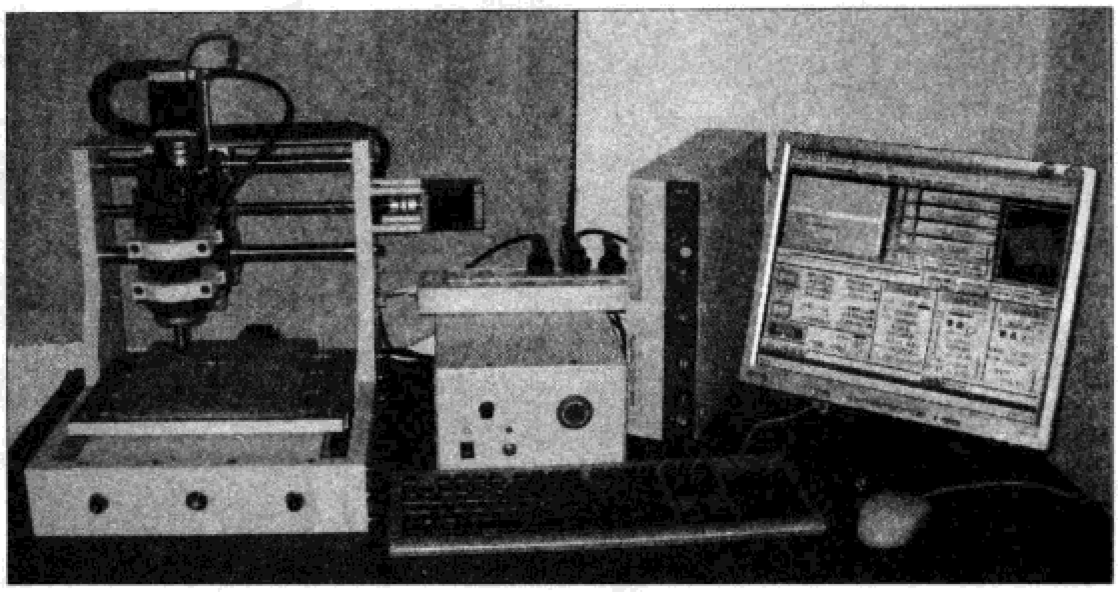
---

ray0812：很不错！谢谢分享！如果用单片机做电路会更简单，而且可以做到自动消零。很想知道测量精度怎样？另外，探头如果很长，杂散电容、电感会影响很大吧？探头线的电阻在测量小电阻时恐怕也不能忽略。

金枪鱼：精度用精密电阻校过，做到2%～3%没问题。测小电感和小电容时可以用面板上的插座，拔下表笔。当初做这个东西的时候我还不懂单片机，所以只能来纯模拟的。现在把AVR玩明白了，兴趣已经不在数字电桥上了。刚刚做了一台数字扫频仪，电路结构很简单，不值得上图，就是一片Mega8控制12864LCD，兼输入电压和换算，另一片Mega8控制一片从网上买的现成的AD9851的板子（改了上面的两个低通滤波器的电感），作为主控，接受按键输入，并用SPI接口控制显示板，多数工作是编程。现在刚刚完成一个1～300MHz频谱分析仪的原理设计，开始筹集零件了，仍然用两片Mega8+成品AD9851板做，因为是频谱仪，所以液晶屏准备换分辨率更高的。这里不是我写错了，确实是用AD9851来做300MHz的频谱分析仪，尽管9851的最高输出频率只有180MHz，原理已经实验通过（就是用的刚做好的扫频仪），就等备齐零件开工了。

数控雕刻机的制作

◎吴晓燕



非常高兴能看到今年第6期《无线电》杂志做了一期关于雕刻机的专题，相信大家看过这个专题后，已经对雕刻机有了比较系统的认识。我是一个电子爱好者，也是一个雕刻机爱好者，本文中，我想将我的雕刻机制作过程介绍出来，希望能帮助广大朋友对雕刻机DIY有个更深入的了解。

本机采用固定龙门结构，设计之初平衡考虑了用途、强度、行程及器件尺寸组合的关系，外形尺寸：355mm×355mm×370mm，行程：*X*215mm×*Y*215mm×*Z*55mm，重约70kg，主要用于雕刻PCB、外壳等，偶尔雕刻点铜、铝等软金属。

机架制作

机架是在一块20mm厚的A3钢板上平面磨床两面磨平后线切割而成的。20mm厚的钢板对于此机可以说是超标了，笔者制作时主要考虑A3钢板比较便宜，而且钢板厚了，能保证强度，也方便轴承座等的安装。本机主体主要包括两块立板、两块横板、*XY*轴托板、工作平台及*Z*轴滑台，见图1。

*Z*轴是自制雕刻机过程中比较难的地方，如果选用成品雕刻机的二手拆机滑台，可为DIY起到事半功倍的效果，既能节省加工工作量及成本，又能保证精度。

立板和侧板分别在相应的四角打孔，攻丝后用螺丝固定。尽量不用焊接而选用螺丝，一是螺丝可以方便后期调整，二是焊接后由于应力作用，机架容易出现变形。

机架切割完成后，要在立板和横板上打孔，作为光轴及丝杆的固定孔。打孔时，需要使立板和横板分别两两对齐、重叠后再进行，以保证光轴及丝杆安装的平行度，这点非常重要。

图1 机架组件

*Y*轴平台下为防尘隔板，可以防止雕刻碎屑落在光轴及丝杆上，减少光轴及丝杆的磨损，延长使用寿命。这项防尘设计是不可缺少的。

滑动及传动制作

滑动部分*XY*轴都选用了直径20mm的镀铬光轴，配合加长型箱式滑动单元，光轴长度为315mm，两头攻M8螺丝孔，通过螺丝固定在机架上，如图2所示。

加长箱式滑块长100mm，内部有两个直线轴承，全部滑动单元价格在300元左右。制作本机时，笔者为了减少工作量（可以少打螺丝孔）选用了这种一体的加长箱式滑块，因为每根光轴只有一个滑块，所以会对精度有一定的影响。读者在制作的时候尽量设计成每根导轨两个滑块，可以通过调整安装，消除滑块本身的误差，提高精度。丝杆选用了二手拆机的THK 1404滚珠丝杆，丝杆直径14mm，螺距4mm。丝杆安装在两根光轴的中间，一头用专用的固定座固定在机架上，这种固定座内部为两个配对的角接触轴承，可以消除丝杆的轴向攒动。另

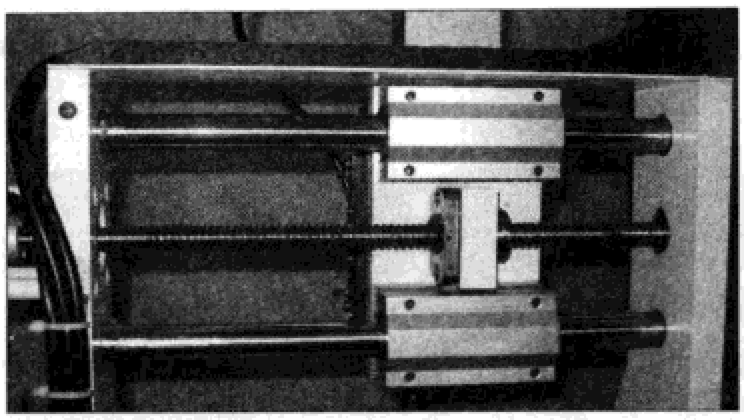


图2 光轴滑块及滚珠丝杠

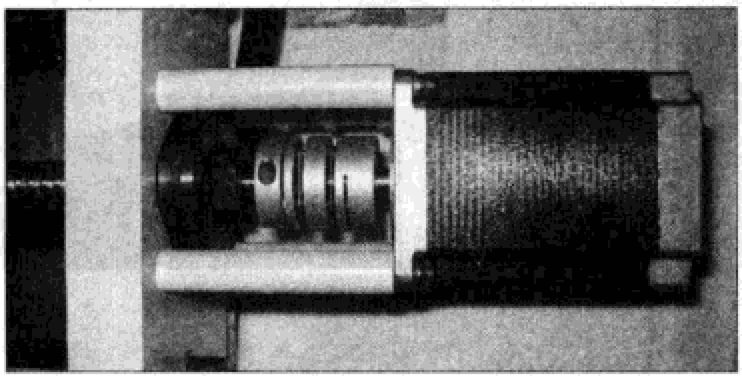


图3 步进电机、联轴器及丝杆固定座

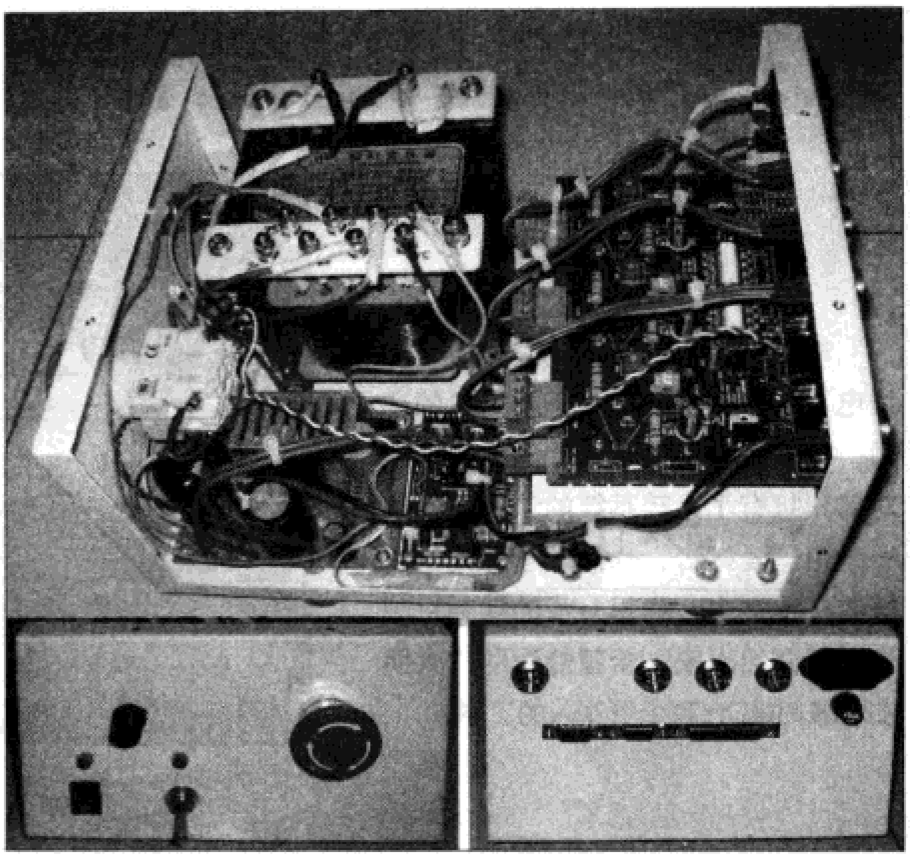


图5 控制箱

一头通过一个普通的深沟球轴承支撑在机架上，丝杆的螺母用于钢板做的方块和托板相连。

读者在制作时尽量选用滚珠丝杆，在保证精度的同时，能显著提高机器的运行速度（传动效率高）、稳定性及使用寿命。二手拆机及全新国产滚珠丝杆都可选用。不同精度价格差距也比较大，业余制作选用 200 元左右的拆机或全新国产滚珠丝杆足矣，丝杆直径和导程自己选择，一般直径 8~20mm，导程 2~20mm。不建议使用弹簧双螺母消回差，传动效率低，寿命短，而且加工调试繁琐，有的爱好者自认为能节省成本，其实细算，得不偿失，最终钱没少花，机子做成的效果还不理想。当然，如果只是做实验，可以尝试一下弹簧双螺母消回差。

驱动制作

驱动部分每个轴各使用一个57步进电机，也是拆机二手件，为六线两相步进电机，价格30元左右。步进电机通过4个直径10mm、长度60mm的圆

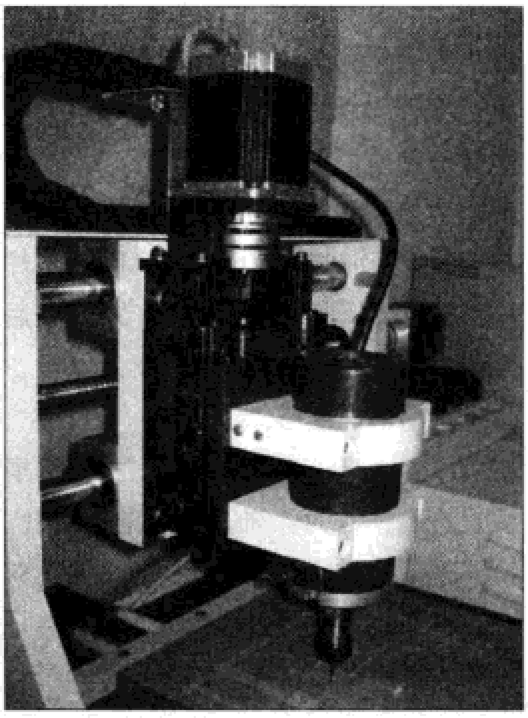


图4 主轴电机及Z轴

钢，两头攻M4螺丝孔固定在机架上。电机轴和丝杆轴用联轴器连接，以消除两轴误差，保证传动自如。见图3。

57两相步进电机的转动角为1.8°，就本机来说，步进电机每走200步旋转一周，丝杆直线距离行走4mm，由此可以算出机器分辨率为0.02mm。实际使用中，驱动电路是带细分的，你可以选择如2、4、8、16等不同等级的细分。使用细分，可以提高精度及步进电机运行的平稳性，但太高的细分也是没有意义的。高细分会提高驱动脉动频率，也就对器件提出了更高的要求，器件指标不过关，反而会出现一些莫名其妙的问题，如光耦的响应速度等。如本机驱动选用8细分，理论精度就是0.02mm除8，为0.0025mm，但实际上这个精度是达不到的。机子的精度是个综合性的问题，包括机架设计、导轨类型及精度、丝杆螺距及其精度、主轴精度等。所以选择丝杆时，不要追求太小的螺距，对提高精度没有太大帮助，反而会降低机器运行速度。业余制作的雕刻机精度能达到0.05mm就已经非常不错了。

主轴及控制箱制作

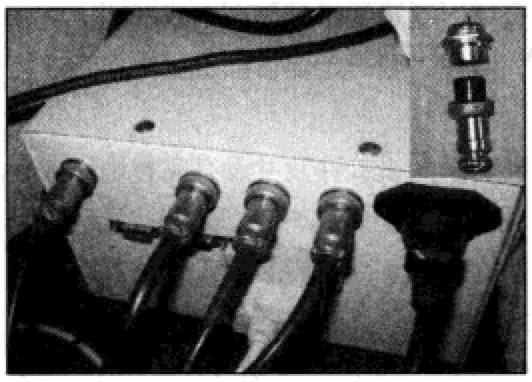
本机主轴选用了低价的直流电机，额定电压 110V，功率 200W，转速能到 9000 转，配合直流调速电路，能方便地调节转速和功率／分，价格 100

多元。电机夹头为 ER11 夹头，配合不同直径的夹头互换，以使用不同的刀具，主轴通过主轴夹具固定在 Z 轴上，见图 4。

这款直流电机用于业余条件下雕刻PCB、外壳等，已经足够用了。当然你也可以使用“大功率变频主轴+变频器”的组合，价格会在几千元不等。

控制箱内部包括电源变压器、电源整流滤波板、步进电机驱动板及主轴电机调速板，见图5。

控制箱前面板很简洁，有电源总开关、急停开关、主轴开关及调速旋钮，后面板为驱动信号接口及步进电机接口。步进电机通过四芯电缆及航空插头与控制箱连接，机架上面的活动线路用塑料拖链梳理固定。电机额定电流2.7A，空出绕组中心轴头接成大力矩模式，实际驱动电流为额定电



航空插头

我的制作工具

流的0.7倍，即1.9A。步进电机驱动选用了接口驱动三轴一体的A3977驱动板，价格在200元左右。也可以运用TA8435H，电流1.5A，价格要梢便宜些，变压器为订做的220V/350W变压器，次级一路电压24V、功率150W，保证6A的电流输出，一路电压110V整流、滤波后通过调速电路给主轴直流电机供电，主轴电机直流调速板可以用NE555加MOS管自己制作，也可以在网上买到成品，价格几十元。

控制系统设计

控制系统为一台计算机，可以使用商品的控制卡，如PCI插槽维宏控制卡，自带配套软件，也可以选用如mach等软件通过打印机并口控制。安装软件后，要根据驱动板脉冲输入端口对应设置好打印机并口脉冲输出端口，根据丝杆螺距及驱动细分设定脉冲数量及电机参数等。详细的设置过程网上可以查到，本文不再详述。

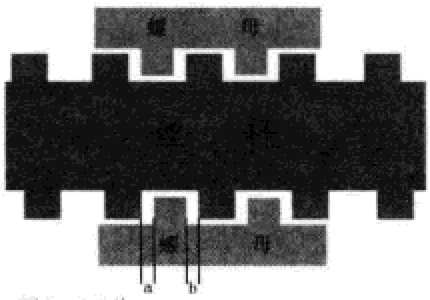
以上简单介绍了我DIY雕刻机的过程，希望能够帮助广大读者对雕刻机DIY有个更深入的认识,相信还有很多朋友做得要比我好。我的机子还有很多不足，例如，为了省事我没有设计限位系统等。

雕刻机的制作是个系统的工程，需要机械、电子等多方面的知识，希望大家不要盲目制作。要清楚自己制作雕刻机的用途，需要什么样的强度、行程，然后着手设计，系统规划，制定详细的制作计划，再采购必要的材料及零部件。设计过程中还要了解市场哪些配件能买到、哪些是标准件、易损件及以后的维护等诸多问题。除了材料及零部件，还需要配备一定的工具，如电钻、卡尺、百分表等。影响精度的关键零部件，如果没有加工条件，必要的外加工还是需要的。总之，雕刻机DIY虽然难，但只要虚心交流学习，坚持不懈，相信用不了几个月的时间，你也会拥有自己的雕刻机。

tips

关于回差

回差的产生是因为螺母和丝杆之间不可能绝对的吻合，螺母和丝杆的螺纹之间会有空隙，如图A中的a、b所示。这样，丝杆在一正、一反的传动过程中，螺母实际要少移动a+b的距离，这就是回差。



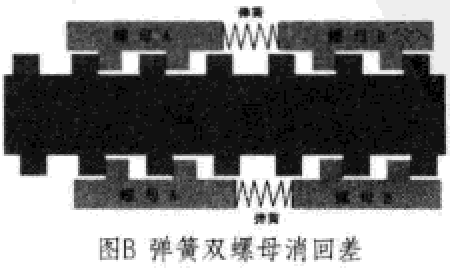
图A 回差

tips

关于弹簧双螺母消回差

丝杆的传动精度除受丝杆自身精度影响外（导程误差），还有丝杆安装造成的轴向攒动和丝杆的回差。丝杆的转动通过螺母转变为轴向的螺母直线运动，螺母再带着部件移动。这种移动是相互的，如果丝杆没有固定牢固，传动过程中除螺母移动外，丝杆会受螺母反作用力向相反方向移动，这就形成了丝杆的轴向攒动，造成传动误差。

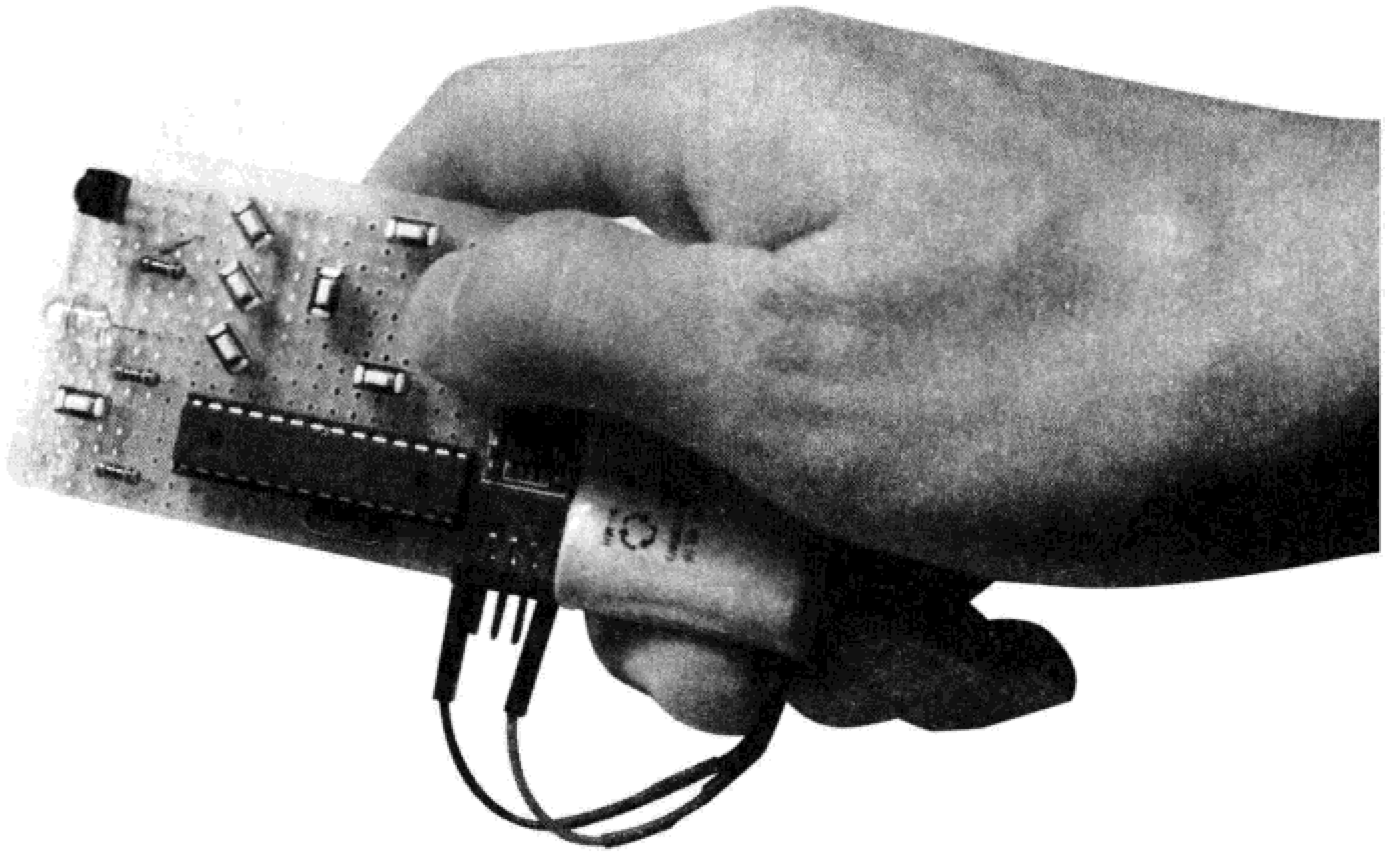
丝杆一般两端用轴承支撑固定，但必须保证一端与机架完全固定，使其没有轴向攒动。一般固定端用两个推力轴承或两个配对的角接触轴承，支撑端用一个深沟球轴承。



图B 弹簧双螺母消回差

22个元件做出学习型遥控器

◎张彬杰



起因

一年前，我就很想做一个遥控器。一方面是出于对电子的爱好，一方面是实际的需求。我家里有两台空调，一台在老妹房间里，另一台在我的房间里。一直以来两台空调都使用同一个遥控器。夏天来了，开空调时，要是我想调整一下我房间里空调的温度、风向、风摆什么的，都要到老妹房间里去拿遥控器，很不方便。今年夏天到了，我想，我一定要自己做出个空调遥控器出来，于是一款自制的学习型红外遥控器诞生了。这也是本文我要与读者分享的作品。

我翻开存满制作的抽屉，找出了2009年用51单片机做的遥控器（图1）。那款遥控器的单片机软件我并没有完整地完成，因此还不能成为空调遥控器，只能通过它来读取红外的逻辑“1”和逻辑“0”的长度，然后，通过串口在计算机上显示。那款遥控器使用AT89C2051作为控制芯片，用了红外一体接收头来接收红外信号，用AT24C02存储芯片来存储红外逻辑数据。由于AT89C2051仅有128字节的RAM，不能超过40个编码，当读取比较长的编码时就没地方存放了。而空调包含了许多的参数信息，这些信息数据要通过遥控器一起传输，因此空调的遥控编码比较多(我家的空调有200个左右的逻辑数据)。显然，51单片机做的那款遥控器不能达到应用要求了。升级遥控器，我首选了目前经常使用的型号为ATMEGA8的AVR单片机。它有1KB的RAM，完全可以轻易记录下200个左右的逻辑编码。

图1 之前用51单片机制作的遥控器

红外学习型遥控器的主要功能是学习，意思是“复制”其他红外遥控器，取而代之。所谓“复制”，就是复制后的遥控器的所有功能与原遥控器一模一样。否则，就不能算成功的“复制”。

学习型红外遥控,可以分为两类：以固定码格式学习的遥控器和波形拷贝方式学习的遥控器。前者，需要收集各种不同种类的遥控器信号，然后进行识别比较，最后再记录。但是，要实现几乎所有的红外遥控器的成功复制就太难了。因为，红外遥控器的红外编码格式变化太多。不过这种学习型遥控器对硬件要求相对简单，处理器的工作频率可以不高，存储容量也较小，其缺点是对未知编码的遥控器无效。后者主要是把原始遥控器所发出的信号进行完全拷贝，而不管遥控器是什么格式，存储在EEPROM等存储器中。当发射时，只需将储存器中记录的波形长度还原成原始信号即可。这种学习型遥控器对MCU的主频要求高，RAM要求较大，其优点是对任何一种红外遥控器都可以进行学习。所以，我以第二种方案进行设计。

红外学习遥控器的学习功能在某些应用场合非常有用。但是，学习遥控器的使用，需要原来的遥控器，没有原来的遥控器，学习功能就无法实现了，这也算一个缺点吧。

所需元器件及材料（见表1）

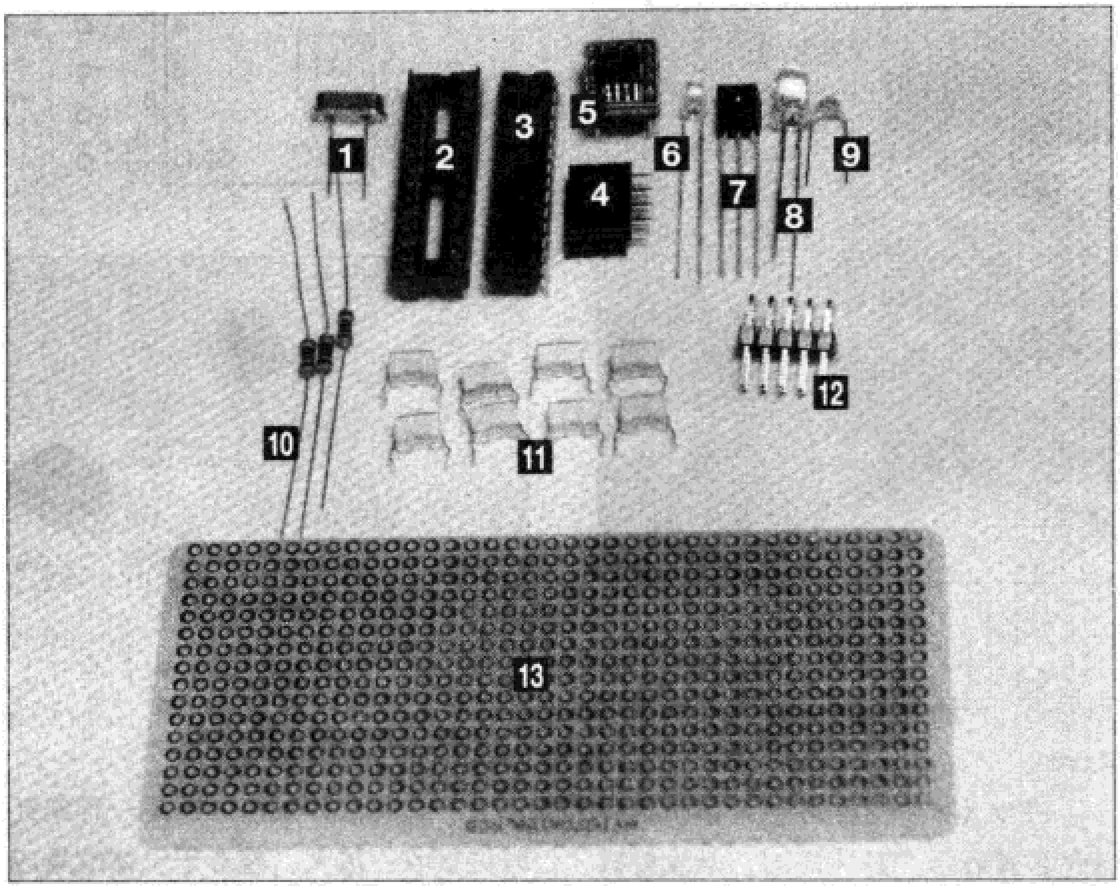


图2 制作所需元件

表1

编号	零件名称	数量
1	16MHz晶振	1
2	M8单片机插座	1
3	M8单片机	1
4	存储器插座	1
5	SST25VF040存储器	1
6	LED灯	1
7	红外一体接收头	1
8	红外发射二极管	1
9	0.1μF电容	1
10	300Ω电阻	3
11	微动按钮	8
12	ISP下载插针	1
13	万用板	1

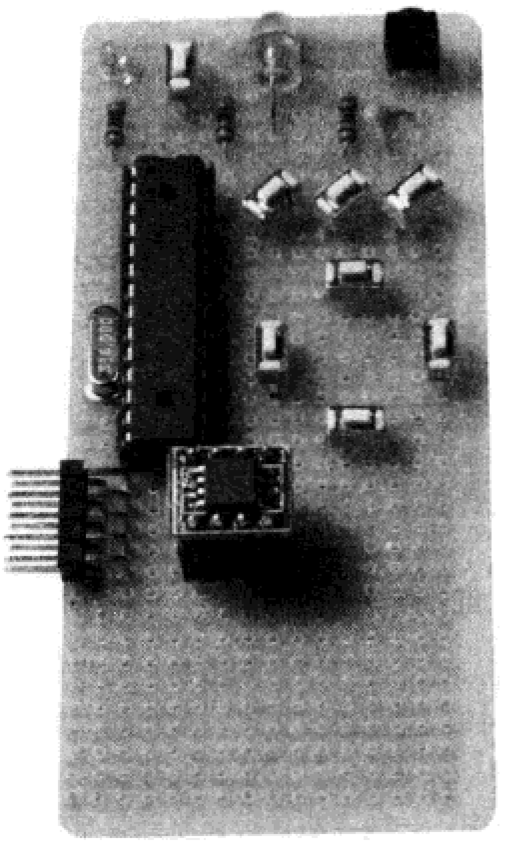


图3 焊接好的电路板

由于使用的SST25VF040存储芯片的封装比较小，所以笔者通过转接板，把SOIC封装转接为DIP封装，方便了后期的制作。

这次制作的焊接工作很简单，都采用了DIP的元器件。使用绝缘线，根据原理图连接对应引脚即可。焊接好的作品如图3所示。

电路原理

电路原理如图4所示。8个按钮的一端都连接到INT1接口上，这样所有按钮就都可以具有中断功能。SST存储芯片是串口的，使用SPI接口，因此和M8的SPI接口直接连接即可，它具有512KB大小。如果觉得容量太大，可以购买小容量的SST25VF010存储芯片，也有128KB大小的。它的最高读写频率高达20MHz，比M8单片机内置的EEPROM快多了。LED指示灯上要串联300Ω的限流电阻，防止LED过亮刺眼。红外发光管也串联了300Ω电阻，实验证明，它的有效距离依然大于2m，距离够用了。为了提高红外逻辑采集的精度，电路使用16MHz的晶体振荡器。红外接收头应该使用可以工作在低电压下的一体接收头，不然整个电路的工作电压就会上升了。

实验证明，整个电路可以在2.3~4.2V电压下正常工作，可以使用2节1.5V电池作为它的工作电源。我使用

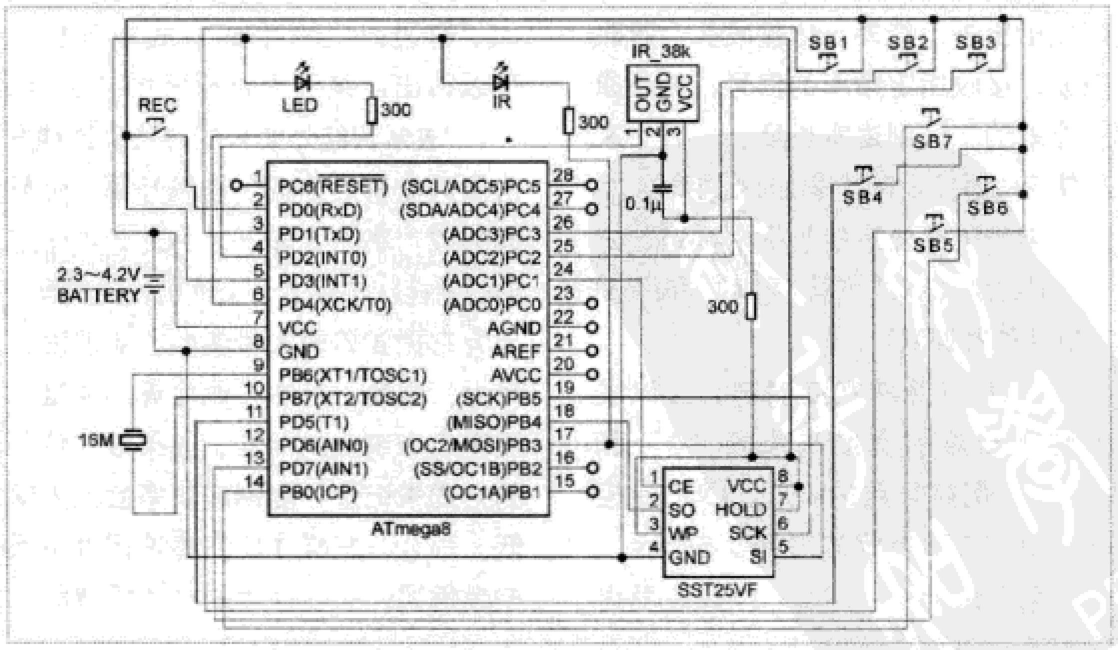


图4 遥控器的电路原理图

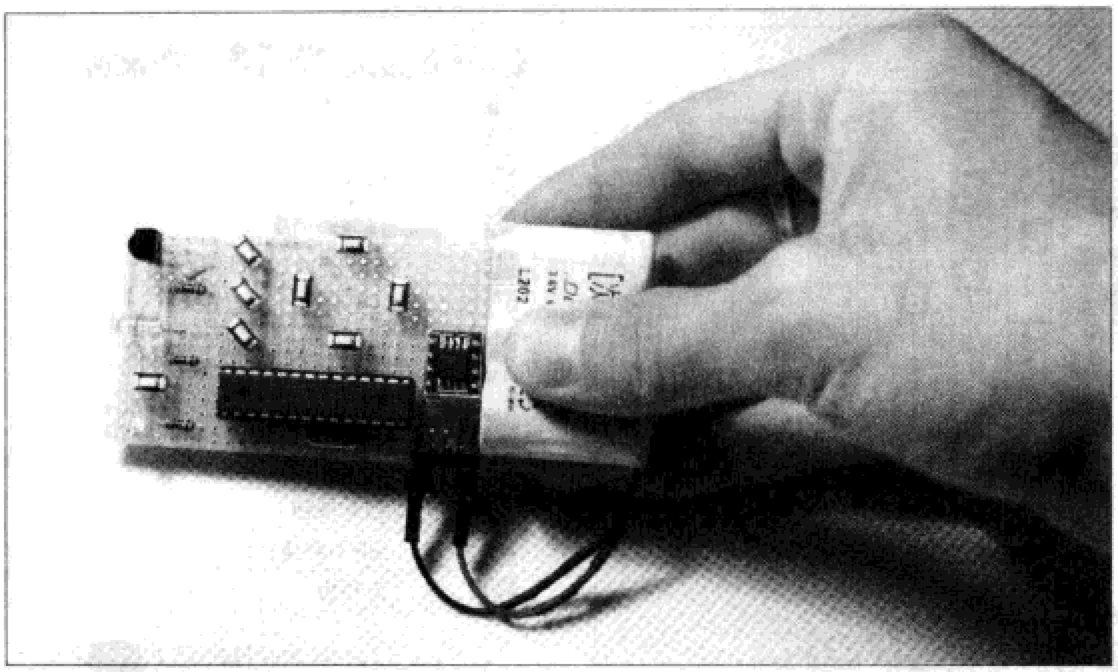


图5 制作完成的遥控器电路

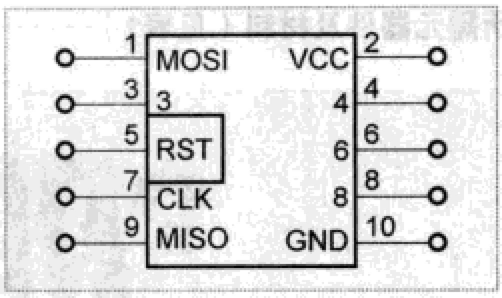


图6 ISP下载线接口

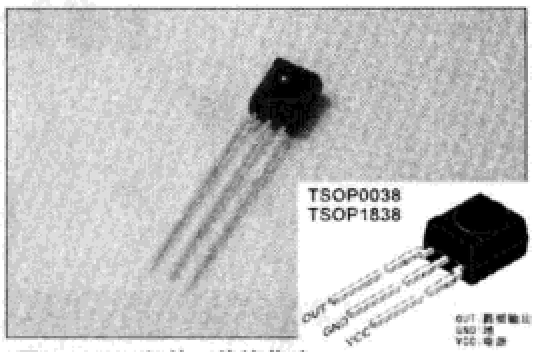


图7 HS38B红外一体接收头

的是3.6V可充电电池。之前，我使用了HS38B红外一体接收头，但要录制红外信号时，电源电压必须大于4.0V才能正常录制。后来，我购买了低工作电压（2.0~4.2V）的红外一体接收头，具体型号没关系，只要引脚兼容就可以。

设计要点介绍

1. 红外编码方式

红外遥控信号实际是一连串的脉冲码，它的逻辑长度一般代表二进制的“0”或“1”。通常为了提高发射距离，一般要将信号调制到特定的载波频率上，然后，通过红外发光二极管发射出去。红外一体接收头会滤除杂波，接收指定频率的信号，并还原成原来的二进制逻辑长度。一般，家里使用的遥控设备都是38kHz的载波。

常用的红外遥控包括两种调制方式：PWM（脉冲宽度调制）和PPM（脉冲位置调制）。

PWM（脉冲宽度调制）：以发射红外载波的宽度来代表“0”和“1”。例如常用的VCD、DVD遥控器，其“0”为载波发射0.56ms、不发射0.56ms，“1”为载波发射0.56ms、不发射1.68ms。此外，还有引导码，一般为载波发射9ms，不发射4.5ms。

PPM（脉冲位置调制）：以发射载波的位置表示“0”和“1”。从发射载波到不发射载波为“0”，从不发射载波到发射载波为“1”。其发射载波和不发射载波的时间相同，都为0.68ms，也就是每位的时间是固定的。还有一种不常用的调制方式：FSK（频移键控调制）。

频移键控用两种不同的频率代表“0”和“1”。例如，发射0.6ms的30kHz载波代表“0”，发射0.6ms的40kHz代表“1”。当然，这种方式不太常用。

通过以上对编码方式的分析，可以得出以某种固定格式的“0”和“1”去学习红外信号的方法。这种方法虽然能有效地减少系统开销，但解码的成功率大大降低。另外，由于空调的遥控状态远多于电视机、DVD等。因为它需要传输大量参数，如温度、风力、湿度、加热、制冷等，并且也没有一个统一的标准。如果按“位”的方式来记录，复制成功率会大大降低。那么，怎样才能完善地记录下遥控数据呢？——合适的单片机就能为这些数据提供存储空间。

2. 红外一体接收头的使用

一体化红外线接收器是一种集红外线接收、放大、整形于一体的集成电路，不需要任何外接元件，就能完成从红外线接收到输出，并与TTL电平信号兼容的所有工作。没有红外遥控信号时为高电平，收到红外信号时为低电平。它的体积和普通的塑封三极管大小一样，适合于各种红外线遥控和红外线数据传输。图7是型号为HS38B的红外一体接收头，经过实验证实，它的实际工作电压不得低于4.0V。

图7中HS38B的引脚从左到右分别是：输出[OUT]、地[GND]、电源[VCC]。

图8~图10是我实验时红外一体接收头接收到的逻辑数据。为了使录制时的遥控器逻辑电平，和发射时的逻辑电平一致。我在输出端接了耦合电容，起到逻辑电平翻转的作用。当然，在制作遥控器时，耦合电容是不需要的，通过软件翻转即可。

每张图上面的两个波形（蓝颜色的），是遥控器发射时的逻辑波形，下面两个波形（红色的）是笔者制作的遥控器的波形。这些波形在自制的遥控器录制好红外编码后通过红外发

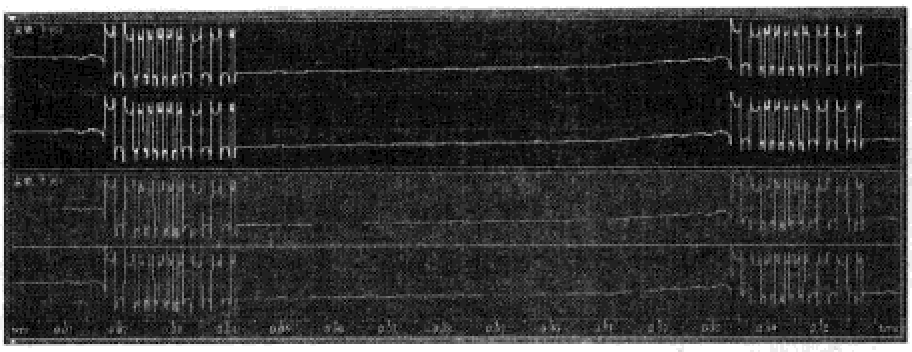


图8 我家电视机的发射逻辑波形

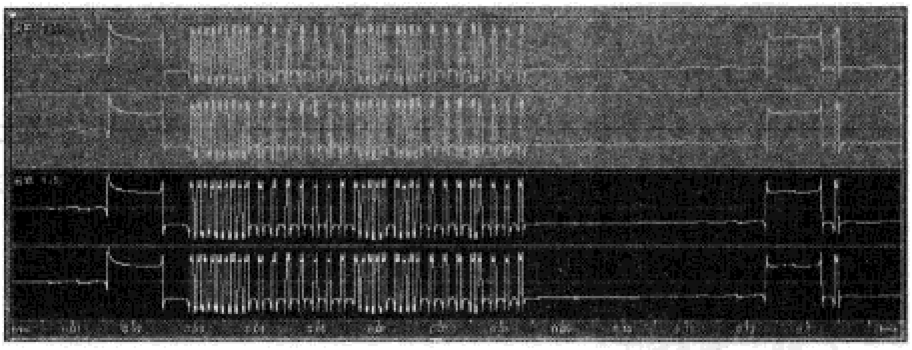


图9 我家DVD的发射逻辑波形

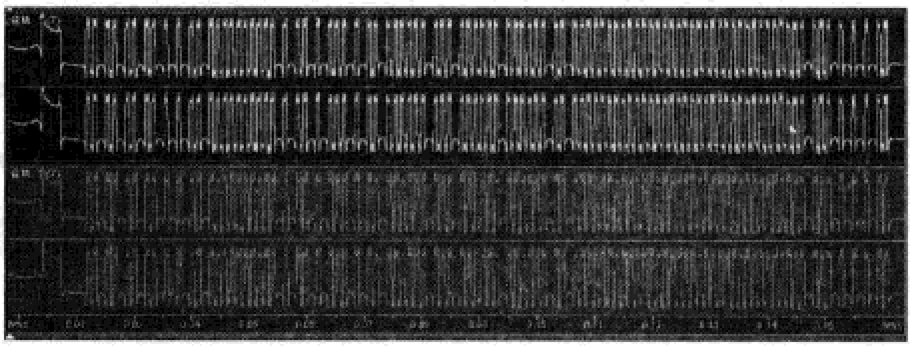


图10 我家空调的发射逻辑波形

射管发射出的。

程序设计思路

一、红外录制

单片机程序通过记录逻辑电平的长度来实现红外遥控的编码记录。当然，它的明显缺点是需要占用较大的RAM空间。但是它的学习成功率，比以某种固定长度记录“0”和“1”来学习红外信号的要高。

程序要先判断电路中的REC按钮是否被按下。按下后，LED灯常亮，进入录制模式。按下需要分配的按钮，如SB1，LED灭半秒后，又亮起，表示确认。现在，就可以拿起遥控器，对准红外一体接收头，按下要录制的按钮。录制好一次后，LED会灭半秒后再次亮起。需要再录一次，录制成功后LED灯就会完全灭了。现在才算真正完成了录制。为什么要录制两次呢？因为，有些遥控器的编码是交错的。奇数和偶数次的编码数据是不一样的，即第1次和第2次按下同一个按钮，它的编码是不一样的。但是，第1、3、5次或第2、4、6次按下的按钮编码是一样的。通常，遥控器的电源按钮的开和关，也是不一样的编码。我家里的空调遥控器开和关虽是同一个按钮，但是编码却是不一样的。

M8的定时器1工作在16位的定时器模式下，并设定为8分频，用于记录逻辑电平的长度，并用2字节，记录下逻辑电平的长度。当200ms左右，红外一体接收头没有电平变化，记录就自动完成了。

此时，数据还在M8的RAM中。由于录制前已经分配好按钮号(SB1~SB7)，程序会把红外编码保存到SST25VF存储器对应的分配空间里，一个按钮固定占用1KB的存储器空间。

二、红外发射

红外遥控器的载波，可以通过设置M8的定时器2产生。定时器2工作在CTC模式下，设定相关寄存器，产生38kHz的方波。就是我们需要的载波。

M8的INT1引脚设置为输入模式，等待下降沿中断。8个按钮对应的引脚全部输出0。当任意一个按钮按下后，就会产生下降沿中断。此时，程序在INT1中断函数中，设置INT1引脚输出0，同时8个按钮设置为输入状态。这时读取接钮的引脚状态，如果为0，就判断它被按下了，如果为1就判断没有按下。

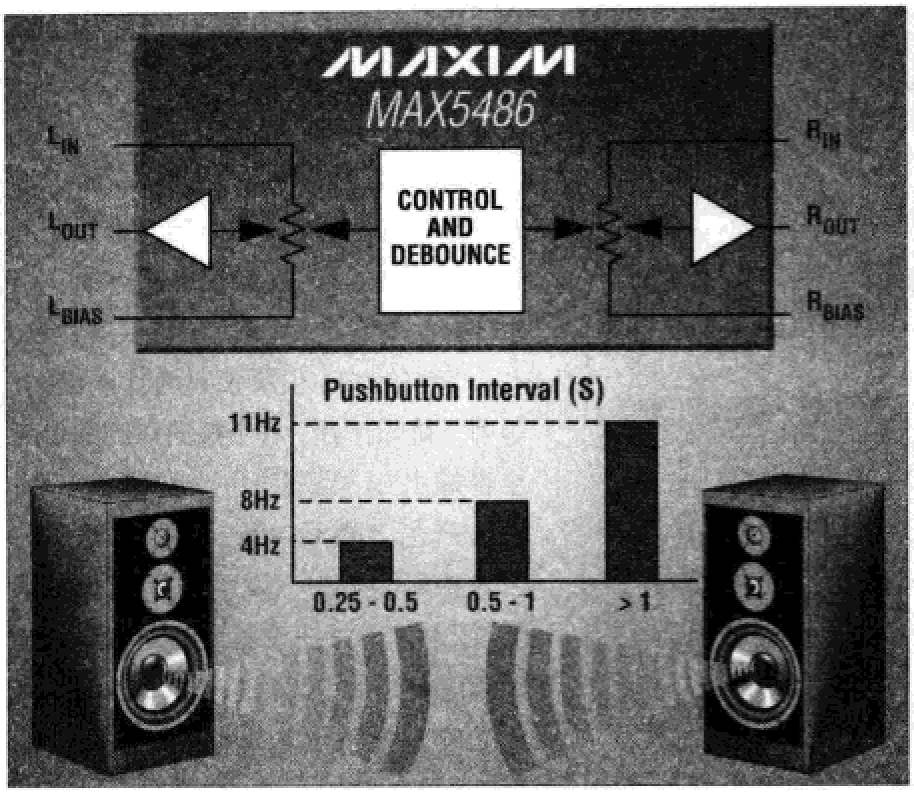
当录制好红外编码后，（SB1~SB7）的某个按钮按下。程序会从SST25VF存储器中载入对应的按钮编码波形，并通过38kHz的载波发射。

使用方法

使用前，我们先要进行录制步骤，不然，SB1~SB7按钮处于没有内容的状态，没有具体的编码。

按下REC按钮，制作的遥控器就处于录制的模式状态，LED灯常亮。这时，就可以指定要复制的按钮。例如按下SB1按钮，此时“制作的遥控器”就处于录制的等待状态。拿出空调遥控器，对着一体化接收头，按下电源按钮。正常的话，LED会灭半秒，表示接收奇数编码完毕。再按一次空调遥控器的电源按钮，LED就会完全灭了，表示接收偶数码完毕。这样，SB1按钮就复制好空调遥控器的电源按钮了，可以使用其对应的功能了。

程序使用ISP下载线更新，如图6所示。下载口共10根插针，其中4根和单片机连接，2根用于供电。如果要使用ISP下载线中的电源（2和10引脚）供电，需要拔下SST存储芯片，防止过高的电压损坏存储芯片。



从中学开始到现在，笔者做过不少的音频功放，但大都是简单地照猫画虎，做出来的东西通上电，接个扬声器能发声就算完成了。顶多再凭感觉，听听噪声大不大、失真是否明显。入了大学，在过去的将近3年里积累了一定的理论，对功率放大器的工作原理、性能评估也略懂一二，于是开始琢磨着制作这么一款桌面功放：性能优秀，体积小巧，成本低廉。正好笔者最近逛电子市场时淘到了一对小无源箱，是一套组合音箱的环绕箱，最大功率60W，从箱体的重量和材质看，这对箱子还不错，至少比市场上那些百来块的有源音箱要好得多。有了音箱，制作功放的愿望也就马上转为了实际行动……

新器件试用台

MAX5486+TA2024
——制作一款小巧的桌面功放

◎任杰

在集成电路制作的音频功放里边，性能优秀的基本都成了经典，已经有无数的爱好者做过了。但是，这些跟我们没多大关系，因为只有亲自动手去做，才能有所体会。并且，即使是经典成熟的东西，要将它做好也是要下一番功夫的。

电路选型

想来想去，最终我选用的功放IC是大家熟知的TA2024，它的总体评价是比较高的。这款芯片在以前的《无线电》上多次被提到，在这里对它就不再赘述了。这里只对着原理图(图1）的一些细节的东西做点简单的介绍。

TA2024有4个引脚是有关状态的输入或输出端，它

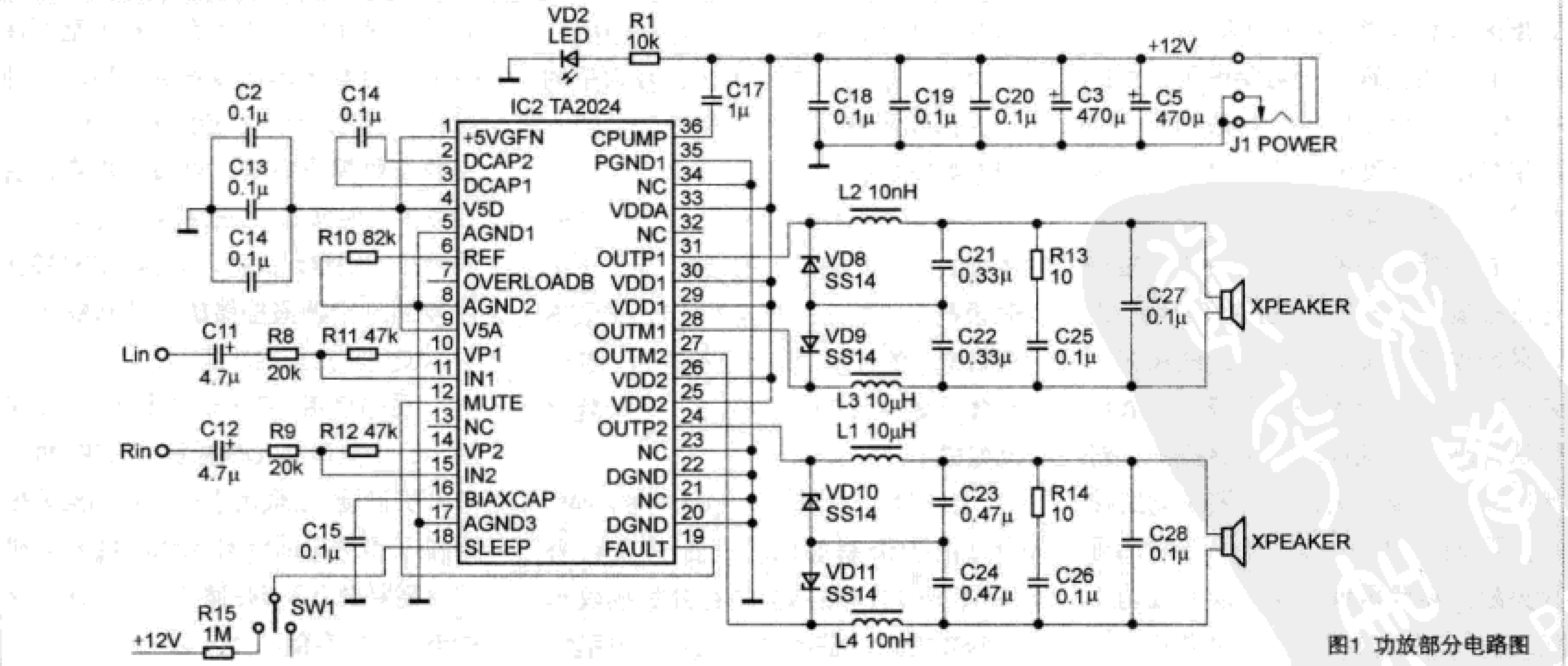


图1 功放部分电路图

们分别是：7脚（OVERLOAD）、12脚（MUTE）、18脚（SLEEP）和19脚（FAULT），这里用到了后面三种状态。如图1所示，SLEEP端接一开关，作为开关机控制，FAULT端与MUTE端接在一起，当出现输出电流过大、电源电压过高、芯片结温过高时，FAULT端输出低电平，使放大器进入静音状态。要注意的是，当输出电流过大导致放大器进入静音状态时，芯片不能自动复位，此时必须重新关闭电源重新开机。

看到图1所示的原理图，读者是不是感觉到这音频功放还缺点什么东西？对了！那就是音量电位器。淘宝网上不少卖家用TA2024做成的功放都用的是机械式电位器，这就导致做出来的东西体积很难有小巧的外观，并且没法实现遥控音量控制。因此，笔者在这里尝试选用了数字电位器取代传统的机械式电位器。这种电位器由于没有机械触点，所以可靠性非常好，寿命也较长。笔者在这里用到的芯片是MAXIM公司的一款数字电位器芯片MAX5486。

MAX5486是一款具有防抖动按钮接口的双通道对数型数字电位器，每通道具有32个抽头，能实现音量加减、声道平衡和静音控制，典型的应用电路如图2所示。图中4个按钮分别为模式选择（音量或平衡控制）、静音、音量加（平衡左声道移动）和音量减（平衡右声道移动）。音量和平衡均为32级控制，每按键一次，音量增大或减小（平衡向左或向右移动）一级，当按键时间超过250ms时，按每秒4级变化，超过500ms时，按每秒8级变化。

这种按钮接口的数字音量控制可以很方便地将做成的功放附加上遥控功能，比如使用常见的315MHz（433MHz）四通道无线遥控模组（这里应使用点动式），只需将接收模块的4个输出端接上一个反相器到MAX5486的4个按钮输入端即可。另外，MAX5486还可以外接5个LED用于音量或平衡指示，图中电路没有使用这一功能。

最后是电源部分。笔者在这里简单地使用了一个LM7805将12V电压稳成5V后给MAX5486供电。由于压差较大，稳压器的功耗也较大，这里不推荐使用LM1117。还有就是电源的退耦问题，适当地使用磁珠和小电容会取得很好的效果。

元器件选择

音频功放的元器件选择一直是爱好者们最热点的话题之一。笔者钻研不深，也不具备评估的条件，所以选择元器件大都参照数据手册。

首先是输入耦合电容。爱好者们一致认为，这一环节对音色的影响是很大的，所以大多数爱好者都会选用名厂的CBB电容，而TA2024的设计指南上推荐使用的是电解电容，

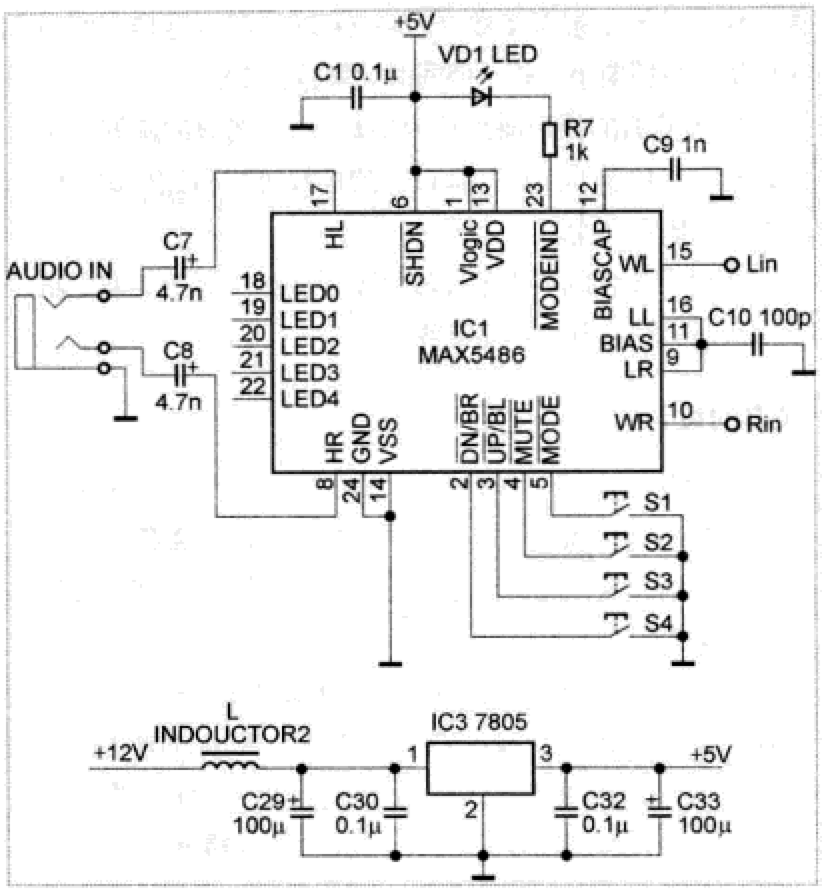


图2 音量控制部分电路图

更有甚者就是德州仪器公司的D类功放，仅仅使用普通的陶瓷电容作为输入耦合电容。笔者个人看来，钽电解电容除了耐压不太高之外，其他方面还是令人满意的，并且在这种小功率的功放中，贴片的钽电解很容易做到体积小巧、布局整齐。所以，我最终舍弃了使用CBB电容的想法，输入耦合电容全部选用贴片钽电解。

接着是输出端的滤波电容。多数厂家的D类功放都推荐使用CBB电容，笔者在考虑，是不是CBB电容在恢复波形时效果要比陶瓷好？最终没能得出答案，于是依葫芦画瓢，选用了较便宜的汤姆逊CBB。

最后，也是最重要的器件，就是滤波电感。它的性能不仅影响音质，而且关系到整个电路板的EMC问题。我们知道，D类功放中流过电感的电流为200kHz以上的脉冲，瞬间值很大，所以电感的饱和电流必须大于脉冲的峰值电流，这就对电感的铜线线径和磁芯面积提出了一定要求。另外,高频脉冲的谐波分量是非常丰富的，可能对周围电路及周边的电器造成干扰，因此要选用合适的电感和滤波电容，尽可能地减小干扰。

在大电流的应用里，一般使用磁环制作电感，TA2024的输出功率较小，在这里没有太大必要。笔者使用的是普通的工字型电感，尽管这种电感磁力线不封闭，但可以拆开观察线径的粗细，用起来也比较放心。

电容和滤波电感的参数决定了滤波器的截止频率。TA2024数据手册中提供的参数截止频率在70kHz左右，这比

德州仪器公司的推荐参数（27kHz）高得多。这样可能对高频分量的衰减要小一些，但同时效率也会变低。

由于笔者的扬声器阻抗为6Ω，所以选取的滤波电容为0.33μF，介于0.47μF（4Ω时的推荐值）和0.22μF（8Ω时的推荐值）之间。

其他元器件的要求就比较宽松了，如电源的滤波退耦，使用普通的铝电解和陶瓷电容。

PCB的设计

尽管笔者小打小闹地做过不少东西了，但是这次设计PCB是花费时间最长的一次，也是自己最为满意的。乍一看，电路的元器件数量并不多，但是布局和走线却是反复修改后才确定的。

在布局上，为了便于以后方便装入外壳，并且比较美观，笔者将输入、输出和电源接口全部放置到电路板的一端，这不仅需要选用体积小巧的接插件，而且要尽可能地使输入输出端隔开。要特别注意的是退耦元件的布局，MAX5486和TA2024都有两个以上的电源端，尽管在原理图中看起来是将各电源引脚接到一起，然后并联多个小电容，但实际在布局时，必须在每个引脚附近单独放置一个或多个小电容，并且越靠近引脚效果越好。确定了器件布局后，布线也是要下一番功夫的。对于输入信号线，要尽量避开大信号的走线，以免引入干扰。而对于输出信号线和电源线，则要尽量做到粗短。所以在TA2024引脚只有0.3mm宽的情况下，需要将输出端的走线以平滑过渡的方式加粗，必要时去掉阻焊镀上锡层，这样一方面可以减小损耗，另一方面有利于降低辐射（特别在D类功放中）。而在两个芯片共用一组电源时，必须将两者的电源端分别接到主滤波电容上。

最后是接地的问题。笔者参照了多款D类功放的评估板，发现与AB类功放中星形的单点接地有所不同，D类功放大多简单地采用大面积敷铜的方法接地。后来仔细一想，这样做不仅因为D类功放芯片体积小巧，而且其中实际上也暗含了单点接地的道理。例如我们看看TA2024的引脚排列，不难发现，它输出端和电源引脚在一侧，输入端和其他小信号引脚在另一侧，当采用大面积敷铜时，由于芯片底下的散热片是接地的，电流会按电阻最小的路径流动，也就形成了以芯片底下散热铜箔为中心的单点接地。

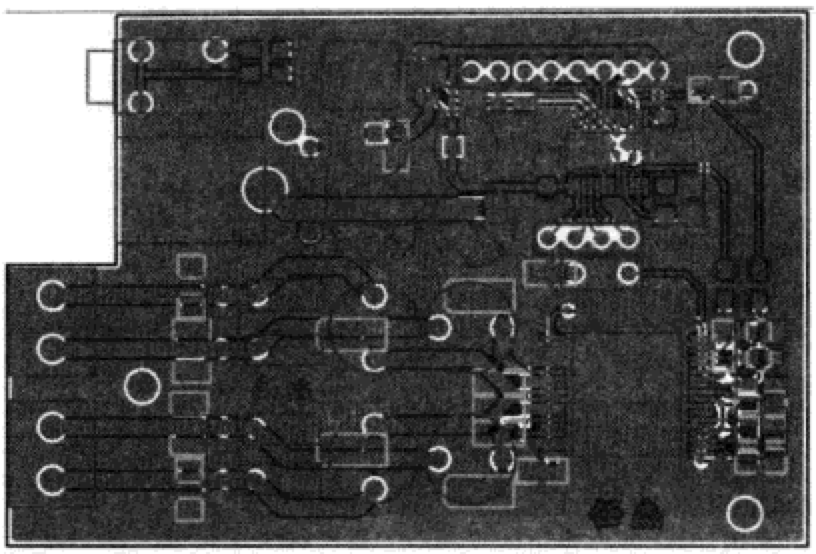


图3 PCB布局布线图

图3是笔者设计的PCB图。

焊接

说实话，本来焊接对笔者来说算不了什么难事，但这回却因为一个不大不小的失误导致焊接遇到了不小的阻碍。

细心的读者应该发现了，笔者设计的PCB板大面积的敷铜是与器件引脚直接相连的，没有使用隔热垫，这样就导致了焊接时由于大面积铜箔散热良好，极易虚焊，甚至无法焊接。笔者纯粹出于好奇，想试试直接敷铜的效果，最终以焊坏了一块PCB为代价。图4是最后焊接完成的电路实物图，最初设计时考虑到让输出接线端子伸出外壳，所以才设计了如

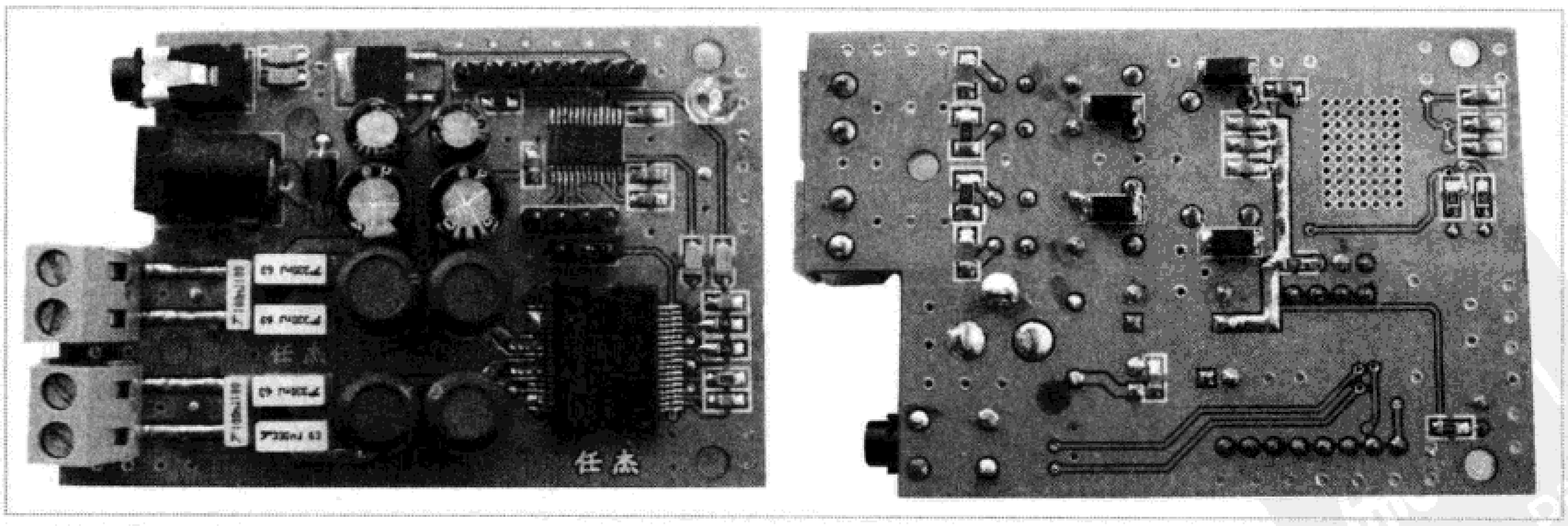


图4 焊接完成的PCB实物

此的实物形状，不过遗憾的是，笔者至今还没能找到合适的外壳。

测试与评估

不同于以前的制作，这回笔者借助各类仪表对这款功放进行了测试，并做出了一些肤浅的评估。图5为测试现场实拍图，以下的测试数据的测试条件为：电源电压12V，负载为阻抗6Ω。

首先我们来看一下方波响应。图6给出的分别是输入10 kHz、40 kHz、70 kHz方波时的输出波形图。不难看出，D类功放的方波响应与AB类功放的方波响应是有很大区别的。AB类功放的方波响应在低频时,输出接近方波，随着频率升高，输出波形边沿开始变得平缓，幅值呈递减趋势，而D类功放由于输出端的LC滤波器存在固定截止频率，随着输入方波频率的升高，波形越来越接近正弦波，直到输入方波频率等于滤波器截止频率时，输出波形变为完全的正弦波。

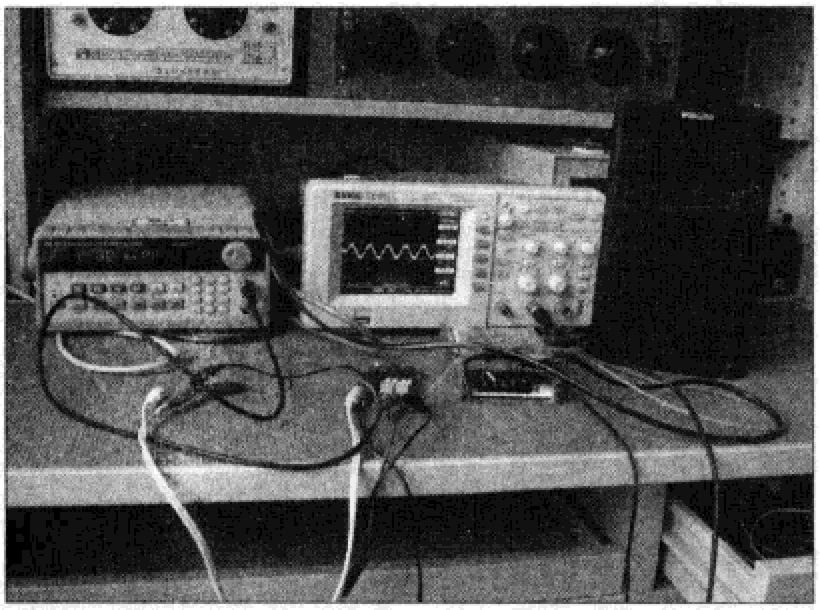


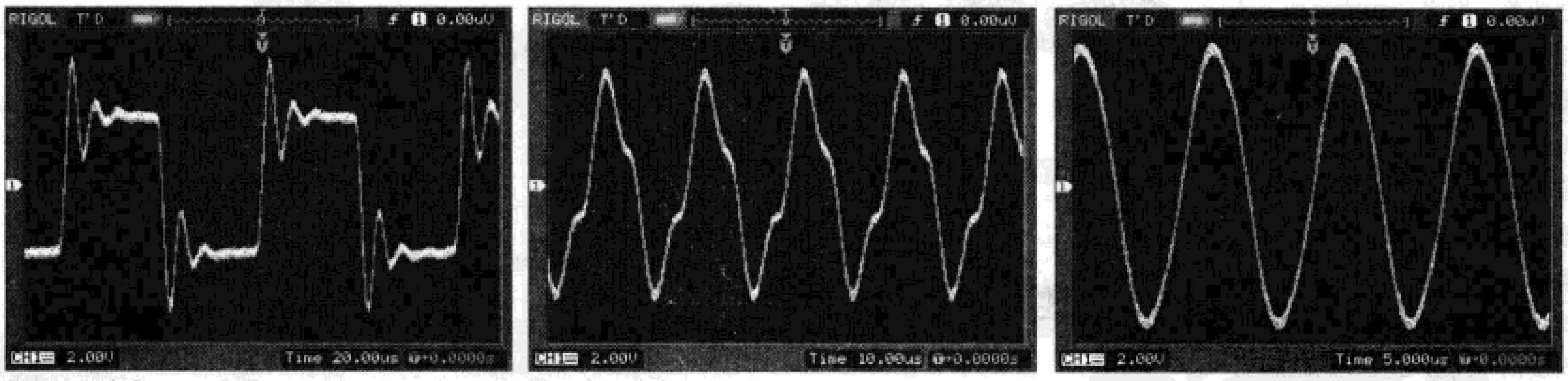
图5 测试现场

从图中不难看出，按照图1元件参数的取值，LC滤波器的截止频率在70 kHz左右，这一数值远远大于TI公司D类功放滤波器截止频率的推荐取值（27kHz左右），这就导致TA202X系列功放的效率较TI公司的D类功放要低，这一点从芯片的体积也可以看出（同等功率的D类功放，TI公司的芯片体积远小于TA202X系列）。

接下来看一下正弦波响应。图7给出的是输入10Hz、2kHz、25kHz、40kHz正弦波时的输出波形图。图中给出的一组波形和测量数据反映出了D类功放的一些特点。首先我们能看出来的是D类功放有极低的下限截止频率，第一幅图可以看出，下限频率低于10Hz，这一点是AB类功放很难达到的。其次是在整个音频范围内，这款D类功放均能保持平稳的增益，而在高于音频的范围里，增益会急剧增加。这一点和其他公司的D类功放有相同的特性。还有一点就是随着频率的升高，放大器的相移会随之增大，从图中数据的实测频率可以看出，相移导致了微小的频差。

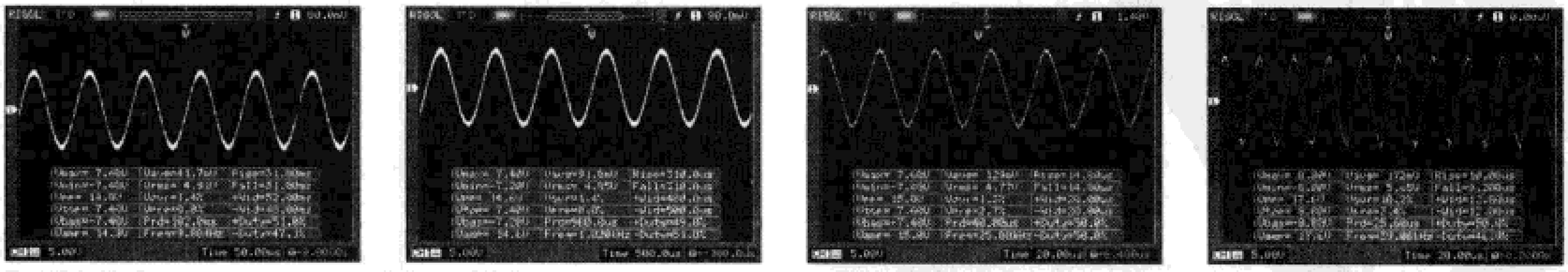
当然，由于笔者知识水平有限，使用的方法并不一定合适，加上示波器是八位的，精度有限，这种计算方法可能是比较粗糙甚至是存在一些错误的，希望读者能批评指正。

最后的阶段就是试听感觉也很不错。制作完成这款功放到撰写此文，已经近半年，这段时间其性能一直十分稳定。



输入 10kHz方波　输入40kHz 方波　输入70kHz方波

图6 方波响应



输入10Hz正弦波　输入2kHz正弦波　输入25kHz正弦波　输入40kHz正弦波

图7 正弦波响应

<<上一主题 | 下一主题 >> 118 1 2 3 4 5 6 7 8 >> ⇒回复 ✧新帖

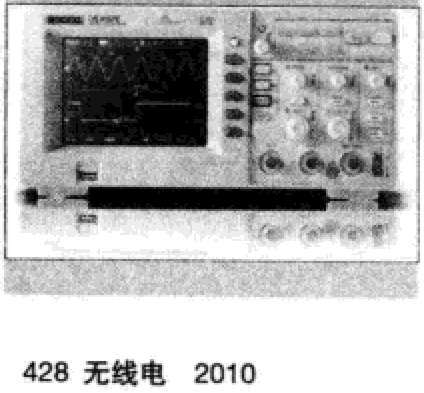
50MHz 的普源DS1052E示波器升级成100MHz 的DS1102E——不改硬件 （摘自矿石收音机论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

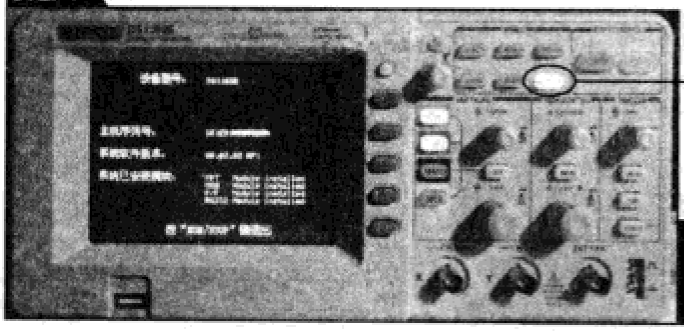
整理：草音
加入日期：2010-07-18
帖子：666

中国机器：1.按照老外专家的介绍，如此修改后DS1052E示波器完全具备DS1102E的性能和功能。2.用笔记本小键盘好像不行，重要的ALT+010组合键不好用，应使用标准104键盘，数字输入用小键盘（记得检查小键盘的NUM LOCK灯是否是点亮的）。3.因为修改时示波器正处于“显示系统信息状态”，所以执行两行命令操作时，等按完组合键，示波器的显示屏上的信息应该立刻有所变化。输入第一句后，如果示波器屏上显示的型号没有改变，应仔细核对是否输入错误。4.修改成功后，记得执行一次自校准。5.我修改成功当晚，因走过很多弯路，所以没有留下修改过程的截图，这里提供给大家的，是重新整理的，难免会有谬误，请原谅，如遇到问题可跟帖说明。6.有这款示波器的朋友可以尝试一下，但楼主不会对后果负任何责任。7.强调一下，串口线不要弄错了。8.应该会有再将型号改回DS1052E的方法，楼主会抽时间试一下，成功后再发贴说明。升级改造过程如下图所示。

示波器是我们研究、学习、维修电子相关产品的重要仪器，主流示波器分为模拟和数字两种。随着技术的发展、制造成本的降低，个人拥有一台数字示波器对很多电子爱好者而言，已经不是难事。由于示波器生产厂家多方面的考虑，不同等级的产品性能上往往会有很大的冗余，这也给DIY爱好者提供了动手的机会。不用添加硬件，零成本把50MHz的示波器升级成100MHz的示波器，喜爱动手的电子爱好者是不是觉得很有兴趣？我们一起来看看网友们的对普源DS1052E示波器的升级改造经历吧。

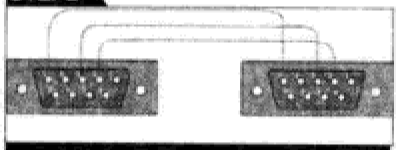


STEP1



按图中所示键，再选择系统信息

STEP2

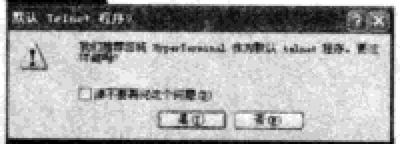


串口线要“直连”，我曾将两个母口背对背，然后用直线连接相同位置的针，结果当然是错的了

STEP3

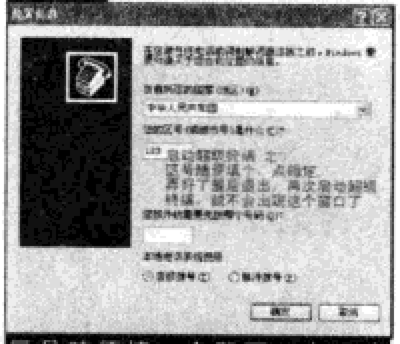
启动WINXP的“超级终端”

STEP4



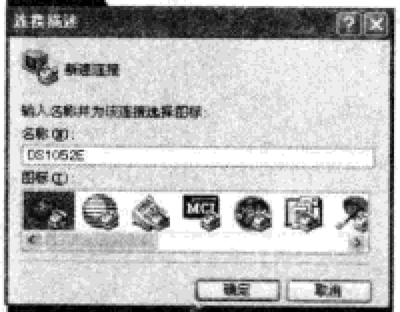
选择“否”

STEP5



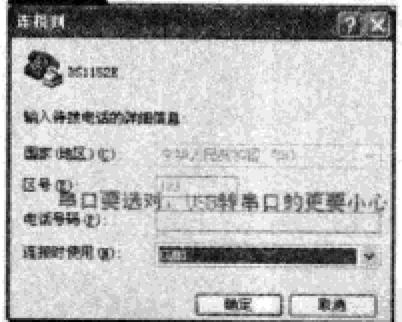
区号随便填一个即可，点“确定”，最后退出，然后再次启动超级终端，就不会出现这个窗口了

STEP6



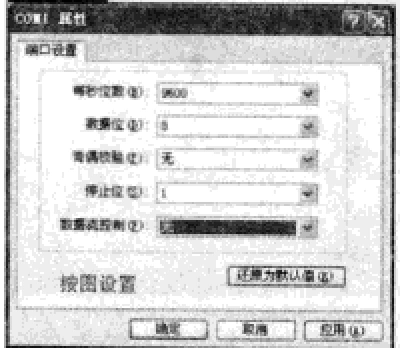
第二次启动超级终端会出现这个窗口，键入名称吧，比如DS1052E。

STEP7



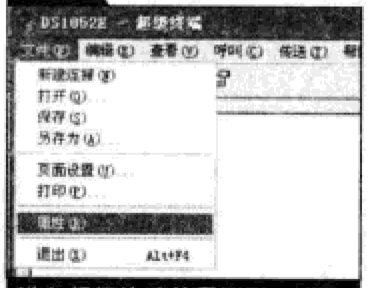
串口要选对，USB转串口的更要注意一些

STEP8



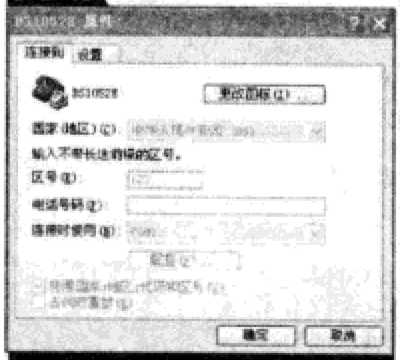
按图设置注意一些

STEP9



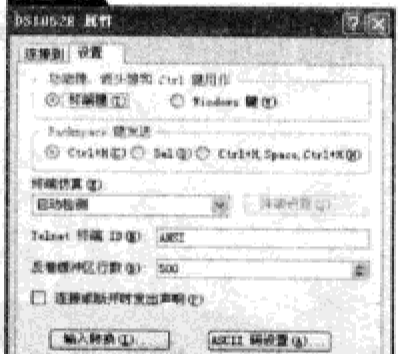
进入超级终端的界面了，点击“文件”-“属性”

STEP10



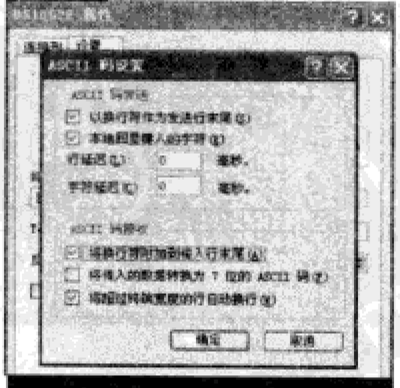
在这个页面上点击“设置”

STEP11



按图设置，然后点击“ASCII码设置”

STEP12



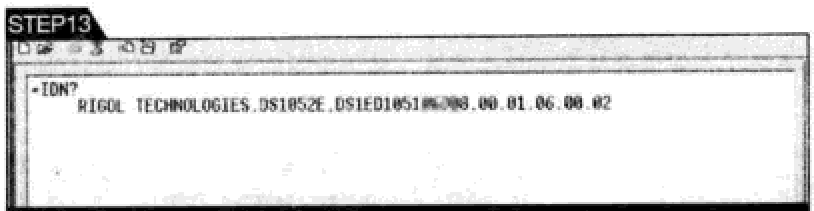
按图设置，一定不要搞错

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　　回复　新帖

50MHz 的普源DS1052E示波器升级成100MHz 的DS1102E——不改硬件

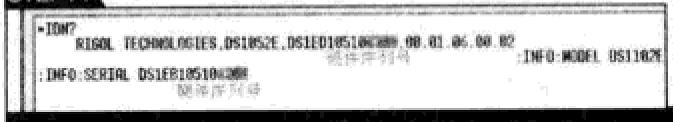
收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

STEP13



这里的操作很重要：输入“*IDN?”这5个字符，然后按住ALT键，并顺序点击数字键盘的0、1、0（这个组合键操作的作用估计是“发送”或“写入”命令。如果你的串口线没问题，按完这套组合键后示波器会立即应答发回自己的参数，其中包括：示波器型号DS1052E、硬件序列号、软件版本（最后的10位数）。注意，前面几个的分隔符是逗号“，”，而软件版本的10位数中的分隔符是点“.”。

STEP14



关键时刻到了，我们一共需要输入两句指令，每一句指令输入结束后都要用“ALT”和“010”三个数字的组合键来执行进示波器，我们需要完全按引号内的内容输入：

第一句指令：“:INFO:MODEL DS1102E”，敲好了，就按上面说的组合键，然后示波器屏幕上显示的型号立刻变为DS1102E。

第二句指令：“:INFO:SERIAL DS1EB????????”，要注意的是：1.其中的“?”要换成你的示波器返回信息中的硬件序列号。2.靠近硬件序列号的字母，由D换成B。3.输入完硬件序列号，按一次“ALT”加“010”组合键。

以上步骤完成后，关闭示波器电源，重新开机，检查示波器信号，应该已经变成DS1102E，而且扫描周期最小值从原来的5ns扩展到2ns。修改完成后，做一次自校准。

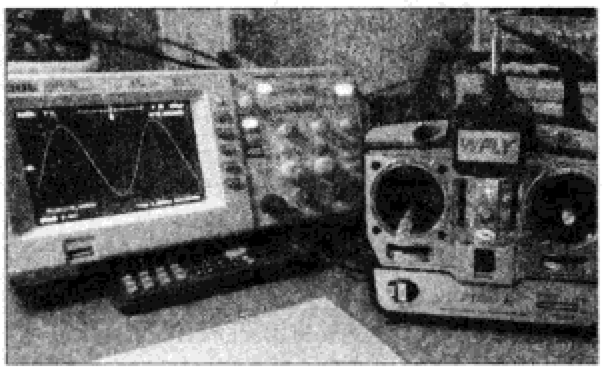
Longshort：好，强！俺最近买一台20M模拟示波器，也想把它DIY成100M的。

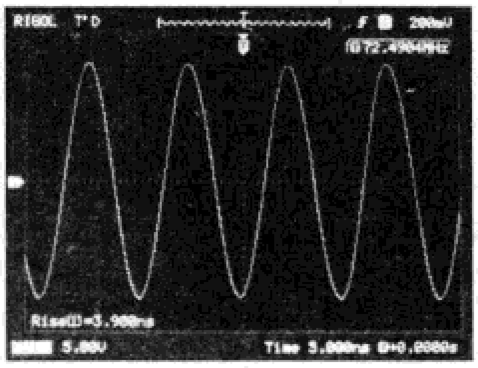
中国机器：你这个想法技术含量可高多了！

小岩：修改后的测试效果如何?楼主测试过没有啊?上个图吧?

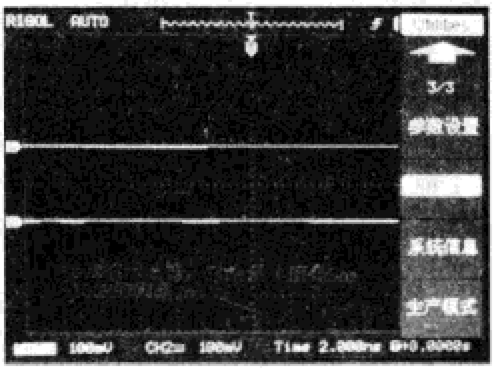
Happymanlxh：这样改以后，到底性能有没有提升啊？？

中国机器：手里找不到频率高的信号源，只好用航模的72MHz遥控器来试一下，采用Time=5ns（DS1052E最低只能到5ns）时，波形为下侧的左图所示。升级成DS1102E之后，Time多了一档，2ns，显示同样信号时的波形如下侧右图所示。示波器变成了100MHz的型号，除了外壳上的商标，使用效果和示波器自己显示的型号都与100MHz机型DS1102E相同。你说有没有提升？





50MHz的示波器Time最小值是5ns



100MHz的示波器Time最小值是2ns

Happymanlxh：ALT +010 就是输入ASC码10，就是换行符。

中国机器：原来如此，多谢！一家之言，随便拍砖。这两个示波器可能采用了同样的硬件电路（从其他参数可以看出一点）。为了控制生产成本，厂家生产了大量同样的仪器，其中抽出一部分用软件降低性能和工作挡位，加入某一产品端的竞争。后面不说了，若果你有同类型的示波器，可以试一下免费升级的快感。

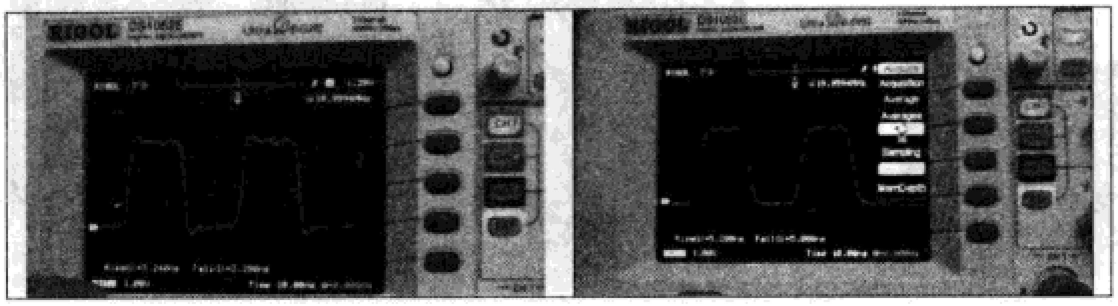
JHXC: 你利用软件把自己的示波器带宽提升了一倍，这是值得赞赏的。但是，你自己也没有确定两种示波器是否使用了相同的硬件，并且升级之后又没有严格地用规范的手段去验证，假设是否成立，唯一的办法就是用事实说明问题。你最好用哪怕是简单的手段测试一下基本的参数，我想这些不会涉及隐私或者侵权。电子技术和其他技术一样博大精深，对于普通人来说，可能知之很少；对于行内的一般人来讲，也会知之有限。论坛为各位提供了一个探讨问题的平台，在技术问题上，允许有人猜测，允许有人曲解。

中国机器：关于示波器的这样升级法，我只是看了老外专家的一段视频，才敢于去实践一下的，老外专家在视频中称两款示波器硬件相同，并做了升级，然后又将升级前后的表现做了对比，并用100MHz的泰克测量同一波形作对比。我是在感觉老外的说法非常可信后才动手升级自己的

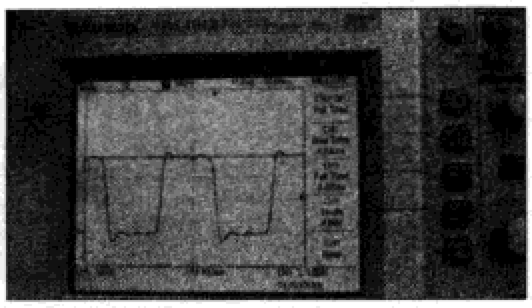
<< 上一主题 | 下一主题 >>　　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　　→回 复　　◇新 帖

50MHz 的普源DS1052E示波器升级成100MHz 的DS1102E——不改硬件　　收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

仪器的。升级过程比较曲折，然而果然得到了一台100MHz的示波器。而进一步的专业级的测试，我没有条件，也难以有时间去做，甚至也不太感兴趣.个人感觉只要性能确实明显提高，比原来的50MHz的示波器好用.就很高兴了，假设升级出来的示波器，某方面性能达不到原厂的100MHz示波器，我也没觉得吃亏。



老外专家提供的升级前后波形显示对比



老外专家提供的升级后与泰克1012的100MHz示波器的波形显示对比

我发贴的目的有两个：

1. 认为这样升级投入几乎为零，收效不言自明，是值得的。既然我弄成了，不敢独享，希望有这款示波器的其他朋友都受益。

2. 升级操作过程略显繁琐，我精心写了图文并茂的教程，是为了让想要效仿的朋友少走弯路。希望有这款示波器的朋友也尝试一下，并做一下进一步的测试，也希望了解情况的朋友说明一下，这两款示波器的硬件是否真的相同（这点可能更有意义）。

各位高手也可就如何测试出出主意，最好能设计一个完整可行的测试方案，并写成教程，好让大家参考。这件事还是有些现实意义而且比较有趣的，大家尽可以各抒己见，让这件事情更有趣一些。

刚刚想起一个大大的问题：我的示波器已经改成了100MHz，却没有50MHz的原型号可作对比了，“杯具”啊。所以如果哪位同好也要升级，先找几个波形做测量，并拍下照片，好在升级后对比。

E3po：偶忍不住也升级了自己的 RIGOL DS1052E， 不过用的是 USB 线。

京都电子：楼主愿意将自己DIY的过程和感受写出来与大家交流是绝对应该称赞的，其他坛友也毫不吝啬地提出自己的观点也是值得大家学习的，任何技术问题大家都可以拿出来推敲，这个过程也是大家互相学习的过程。

中国机器：用USB升级，是不是操作会简单很多?

E3po：是简单很多，不用找旧电脑， 用笔记本就好了。

---

albert：顶下.说说实测的带宽情况:改造前，80MHz正弦波，92mV；改造后，80MHz正弦波，138mV。在85MHz处，改造后的1052E和TDS220对比，前者110mV，后者120mV（和上面的测试模型不一样，所以读数小）。下至15MHz,各频率基本符合这个关系。改造后的1052E比TDS220低7%~10%。读数由自动测量读出，4次采样平均。TDS220多年未校验。对比说明，1052E改造后效果明显，基本达到100MHz示波器指标——TDS220没校准，不能说谁更准确，至少是比较接近的。

中国机器：是不是不管在哪个频率，1052测出来的幅度都小一点？在日常使用上，感觉我的1052改1102没发现什么不妥，确实值得一试!

---

albert：是的，这应该属于正常现象。

E3po：赚到了，多谢楼主的好贴提醒了一大批 RIGOL DS1052E 的玩家。RIGOL DS1052E真的是穷人发烧友的“劳斯莱斯”。

中国机器：USB线连到电脑上之后，是否需要驱动？连接后也用超级终端来发送命令吗?

E3po：前提是先装好 NI VISA441runtime.exe (National Instruments 网站上可以下载) 和 Ultrascope_for_DS1000E_Series.exe (跟机光碟里面有，也就是所谓的上位机软件)。

试做笔记本电脑无线电源

◎古人

笔记本电脑无线电源面临的问题

笔记本电脑的有线电源通常为20V/3A左右。对于一般常见的开关电源来说，加上一些损耗，这个电源的贮备功率要求在70W以上，这是一个瓶颈值。在这个有线电源的功率接近极限值的情况下，要用无线电源来实现与有线电源相同的供电和充电功能，无疑是一个极大的技术挑战，将面临以下多方面的技术问题：

1. 功率问题

2. 效率问题

3. 涡流问题

4. EMC问题

5. 结构问题

无线供电与有线供电在物理上的主要区别是：无线供电不与用电器有物理上的连接，如果把有线供电的变压器耦合看作一个封闭系统，那么无线供电必须是一个开放式系统，即能量不是通过变压器磁芯来耦合，而是以电磁波辐射的方式由发射端经过一段距离后传到接收端，因此损耗比有线电源大得多，效率也低得多，更为麻烦的是随之而来的涡流问题、EMI和EMC问题就显得十分突出——在这样强大功率的磁场下，涡流可能会导致笔记本电脑内部的元件尤其是芯片类（包括CPU）严重发热，甚至损坏，同时，由于巨大的电磁辐射，可能会对笔记本电脑本身、电源网络以及周边环境造成严重干扰，甚至威胁。另外，笔记本电脑是一个集成度很高的便携式产品，内部空间极为有限，因此，要求无线电源必须重量轻、体积小，才有可能嵌入笔记本电脑内部。

电磁共振芯片介绍

所幸的是，芯片VOX330MP05S和VOX20K3A使笔记本电脑的无线供电成为可能。这是一对基于电磁共振的专用大功率发射和大功率接收IC，具有较高的发射和接收效率，其外观见图1。

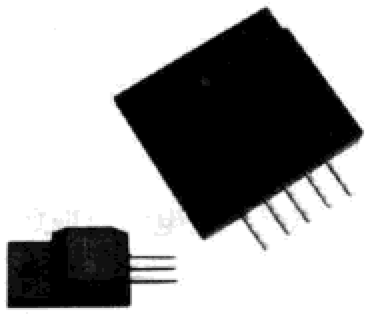


图1

VOX330MP05S是一块3脚封装（与TO-220相当）的电磁共振专用发射芯片，具有高达100W的发射能力，而体积只有22mm × 12mm × 9.5mm，它的第1脚为电源端，工作电压9～12V，3脚为地，2脚为输出端，IC内建振荡器、电压比较器、功率限幅器、推动电路和功率输出管，其输出端可承受1000V以上的高压脉冲，非常适用于高压驱动的应用。图2就是利用220V~整流后给电磁共振回路供电的一个实例。

图中C4、T1和C3组成滤波网络，串联于电网与发射电路之间，作用是用于吸收发射电路中的谐波反馈到电网上，也可以防止电网上的浪涌电压对发射电路的影响。4个二极管和C2为整流、滤波电路，直接将220V~的市电整流得到一个约300V的直流电压，这个电压经L1和C1组成的并联谐振回路加到VOX330MP05S的输出端，图中DC为一个12V/100mA的电源转换模块，为IC1提供工作电压。

VOX20K3A是一块五脚厚膜封装电路，尺寸为33mm × 30mm × 6.3mm，内部集中了电磁共振所需要的相位检测、电压检测、电流检测、功率校正等功能，其应用的工作原理图见图3。

VOX20K3A需要提供一个5V的工作电压，工作电流约30mA，可由LM78L05提供，2脚上的硅稳压管决定了整个电源的输出电压，关系为：Vout = DW + 1.2V，因此，不同的稳压管

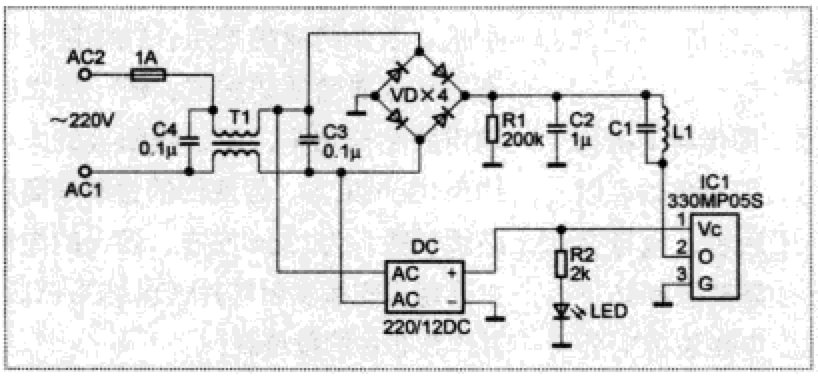


图2 发射电路

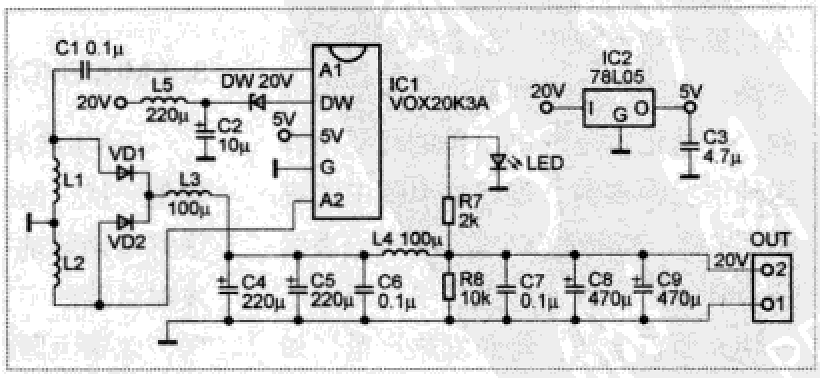


图3 接收电路

将得到不同的输出电压，但稳压管必须在9～24V之间选择。A1和A2分别为补偿输入和输出端，C1为输入电容，L1和L2为两个串联的接收线圈，也可以用一个线圈代替，VD1和VD2为整流管，选用快速管或肖特基管，电流大于3A即可。L3、L4及C4～C9为滤波电路，用于减少纹波，稳定电压。

笔记本电脑无线电源的规划

无线电源可以免除电源线频繁插拔的麻烦，也可以随时给笔记本电脑电池充电，为使用者带来方便。但要使用无线电源，必须解决上面提及的多方问题。

1. 空间结构问题

笔记本电脑在使用中，有一定的发热，尤其是在夏天，发热更为明显，不少使用者均为之配上一个底座，以帮助散热。

无线电源分为两部分，发射部分可以装在底座上，接收部分置于笔记本电脑内部，中间有通风层以便空气对流，结构分布见图4。

笔记本电脑内部结构是很充实的，根本没有空间来放置无线电源的接收电路，因此，若要实用，必须通过工程设计来调整笔记本电脑的内部结构，但作为实验，可以作如下调整：将笔记本电脑的光驱取出，将无线电源的接收部分置于光驱的位置。

2. 涡流的解决方法

当大面积的金属（电和热的良导体）置于电磁波中，就会产生涡流而发热，电磁炉就是利用这个原理做成的。在笔记本电脑中，是绝对不允许这种情况存在的。笔记本电脑中的高密度电路，特别是CPU等内部有许多回路，若将它们置于电磁场中，无异于一块大面积金属，势必发热严重！如何解决它？

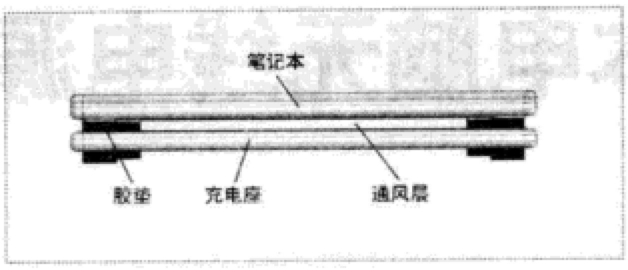


图4 底座与笔记本电脑的关系

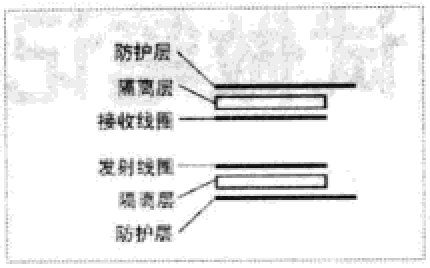


图5 发射和接收的层次关系

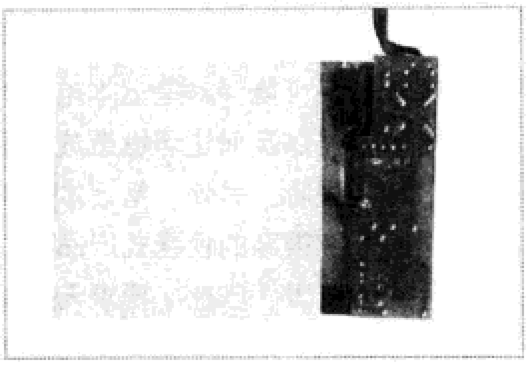


图6 发射板（俯视）

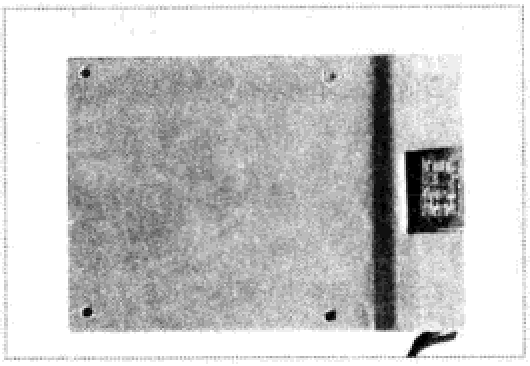


图7 发射板（仰视）

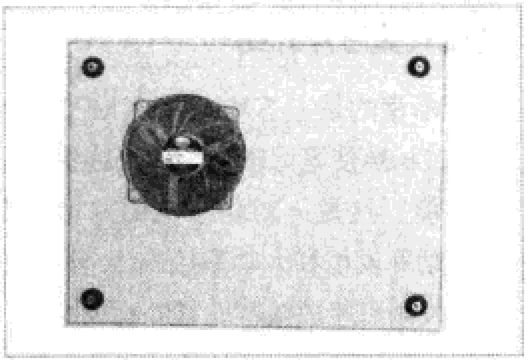


图8 发射底座（俯视）

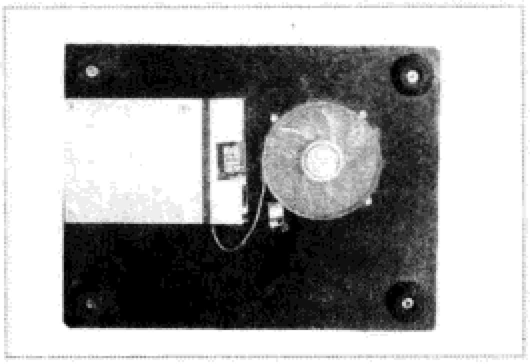


图9 发射底座（仰视）

要消除涡流，关键是不能让CPU等高密度器件工作于电磁场中，因此必须在接收线圈的上方增加一层隔离层，阻止电磁波进一步往上面传播，隔离层可以用反波材料，要求有一定的厚度，如图5所示。防护层可以是金属片，以吸收经过隔离层后的剩余电磁波，当然它会因此发热，所以隔离层的品质不仅影响发热，也严重影响电源的整体效率。防护层兼做散热片，所有发热元件全部用散热胶贴于上面。

3. EMI和EMC解决方法

EMI主要有两方面，即传导干扰和辐射干扰，图2中的C4、T1和C3可以很好地消除前者。至于后者，也可在发射线圈的下方，增加隔离层和防护层，以最大限度地减少电磁波的对外辐射。当然，接收电路的品质，特别是材料的品质，是减少电磁辐射、提高效率的关键，而PCB的质量与线圈的品质在减少二次谐振和谐振辐射方面起着重要的作用。

笔记本电脑无线电源的制作

1. 发射器和底座的制作

发射器主要由发射线路板和发射线圈板两部分组成。

发射线圈板共有4层，从上到下分别是：表面绝缘防护层、线圈层、隔离层和底面金属防护层，每一层之间均用胶粘剂贴牢。发射线圈板的大小约为10cm见方，但底部的金属隔离层必须长些，为13cm左右，多出的面积主要用于安装发射芯片VOX330MP05S并作为芯片的散热器。

发射线路板上的DC模块选用

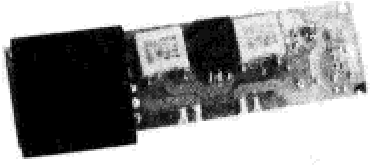


图10 接收线路板（仰视）

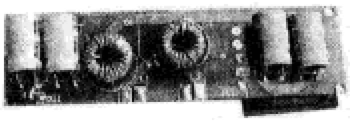


图11 接收线路板（俯视）

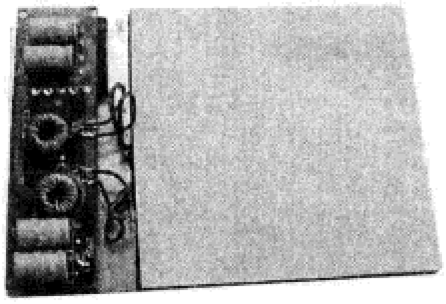


图12 接收板（俯视）

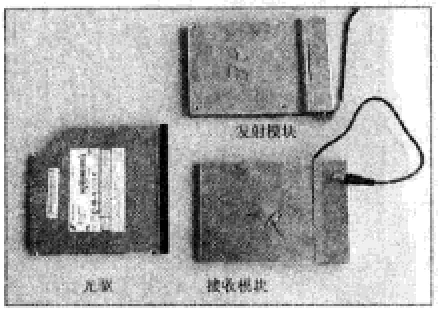


图13 模块与光驱的比较

图14 用无线电源的笔记本电脑

附表

项目	参数	备注
天线厚度	5mm	包括隔离层和防护层在内
PCB厚度	15mm	含散热片厚度1mm
尺寸	135mm×100mm	发射与接收相同
发射电压	220V~	
发射空载电流	0.04A~	无接收部分
发射空载电流	0.05A~	有接收部分但不给笔记本电脑供电
负载电流	0.28~0.39A~	笔记本电脑正常工作并充电
接收输出电压	20V DC	±0.5V
接收输出电流	充电3.0A DC	不充电时1.8A DC
纹波电压	50~100μV DC	
发射模块温度	42℃	气温28℃/1小时/空气对流
接收模块温度	58℃	气温28℃/1小时/笔记本电脑内不通风

体积小的AC/DC，AC220V输入，12V/200mA输出即可，这个电源除了为发射芯片提供20~30mA工作电流，也是外接风扇的电源。发射芯片必须卧装，以便全面贴在散热片上，即底面金属防护层上，如图6和图7所示。

取一块塑料板，大小与笔记本电脑相当，在对应于光驱的位置，用螺丝将发射板固定于下方，在靠近发射板的附近挖一个孔，用于安装风扇。当然还得装上4个胶质脚垫，同时别忘了将电源线的输入端固定，以免使用中脱落或断裂而导致事故，如图8和图9所示。

2. 接收器的制作

接收器也由接收线路板和接收线圈板两部分组成。

接收线路板的尺寸约为10cm×3cm，板上有几个元器件必须安装在散热器上，即整流管VD1、VD2和接收芯片VOX20K3A。如图10和图11所示。

接收线圈板的结构与发射线圈板相同，也分为4层，但排列方向刚好相反，从上到下分别是：顶面金属防护层、隔离层、线圈层和表面绝缘防护层。金属防护层也用作散热片，几个易热的元件紧贴其上，见图12。

3. 笔记本电脑的改造

笔记本电脑内部需要作以下两方面的改造：

首先将笔记本电脑的外壳开启，将光驱的固定螺丝取下，这样光驱可以随时取下，以便为接收模块留出空间，要使用光驱时，重新插回去即可。

模块与光驱的大小如图13所示。

另外，笔记本电脑的外壳的内侧有一层电镀层，是用来防止外部电磁干扰的，电磁波是不能（或不易）透过的，必须将光驱对应位置的电镀层刮去，以适合于无线供电的要求。这个位置的电镀层被刮去后不会影响笔记本电脑的使用，因为光驱本身是金属结构，当光驱插回去后，就弥补了原来的电镀层的位置。

上述处理能最大限度地保持笔记本电脑的原有外观和性能，不致于因为这个实验而被破坏。

最后将接收模块插入笔记本电脑中，将电源输出端与笔记本电脑插好，并将笔记本电脑置于发射底座上，让发射模块和接收模块上下对齐，保持约2cm距离（注：距离太大，幅射增大，效率降低；距离太小，笔记本电脑与底座之间没有间隙，不利于散热）即可通电工作，见图14。

总结

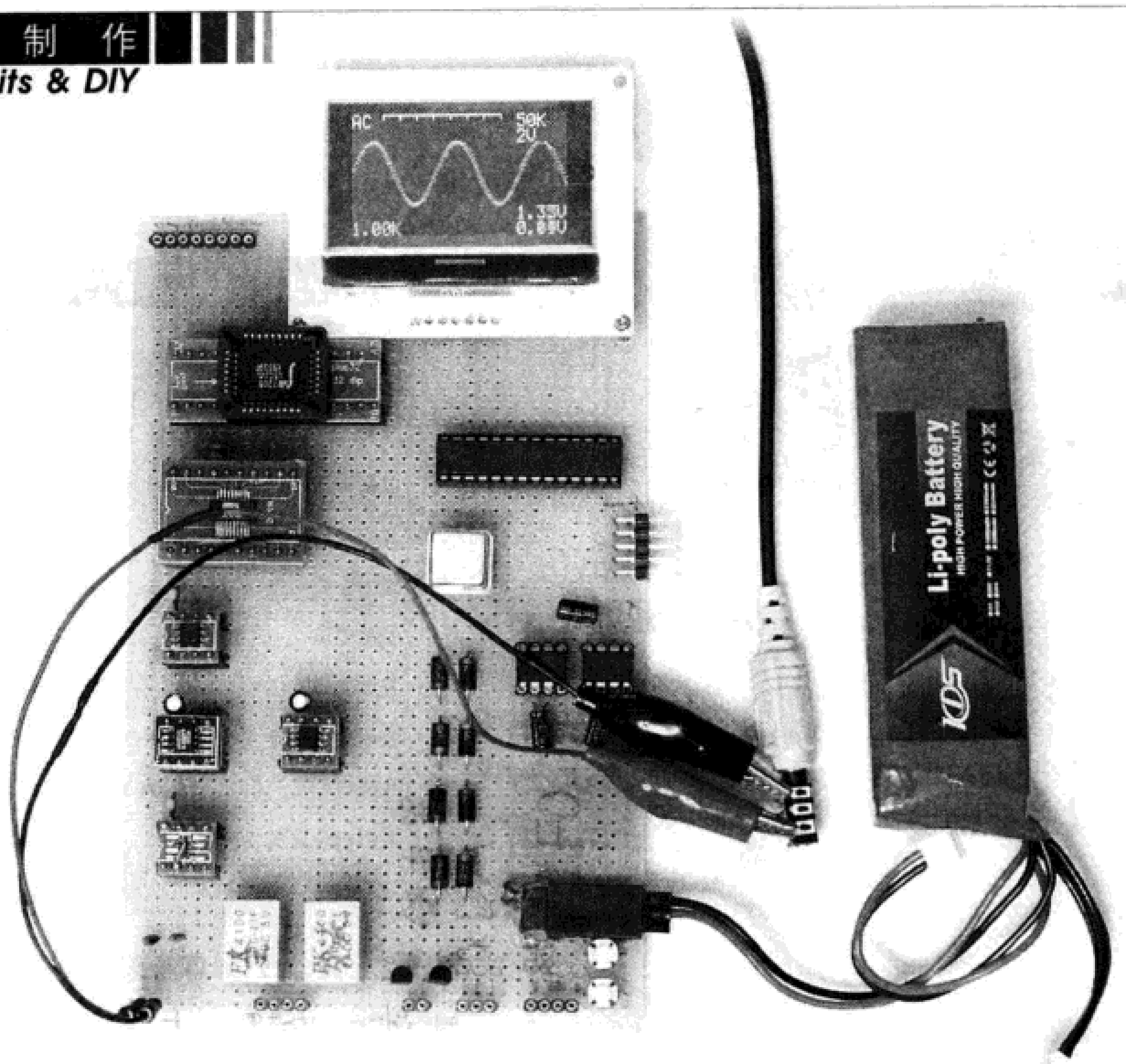
笔记本电脑无线电源实际上是一个集功率问题、效率问题、涡流问题、EMC问题和结构问题于一体的综合解决方案，这些问题是相互影响、相互制约的，单独考虑其中的任何一个问题都是没有实际意义的。比如，涡流的处理实际上是减少辐射、提高效率的过程，二次辐射少了，涡流也就小了，效率就相应提高了；而结构问题是一个首要问题，因为结构直接影响到无线电源的的实用性，如果结构不合理，可能导致笔记本电脑内部器件被干扰、发热，甚至于烧毁。

经过上述处理后的笔记本电脑无线电源，接收模块可以直接插入笔记本电脑内部（先将光驱拔出），实现了无线供电和无线充电的功能。实测结果见附表。

本文所用无线供电芯片的供货信息见第99页。

简易示波器自制体验

◎张彬杰



一年前，在《无线电》杂志上看到一篇示波器的连载文章（作者是魏坤）很是心动，希望自己也能亲手DIY一个。但当时材料、实力有限，于是笔者拼命的研究文章中提供的电路图和使用的芯片资料。现在，自己终于也能DIY一个了，当然，性能远远没有那篇文章介绍的强，但软、硬件技术及制作难度很小，容易让DIY爱好者们自制成功。在这里，笔者愿和大家分享一下制作过程。

这款简易示波器的性能如下：

1. 电压挡位：200mV、500mV、1V、2V、5V、12.5V、25V、50V。

2. 频率挡位：12MHz、6MHz、4MHz、3MHz、2MHz、1MHz、500kHz、250kHz、100 kHz、50kHz、25kHz、10kHz。

3. 能较好地测量300 kHz的波形。

这次DIY的示波器性能虽然较弱，仅仅能用来测试音频等300kHz以下频率的周期波形。不过它还有一个实用的功能，可以用来测试+/-50V的电压（量程是自动切换的）。

电路分析

这个版本示波器的电路原理如图1所示。电路制作时，我用了1块16cm×10cm的万用板，电路中仅仅使用2个按钮来操作示波器，因为我只使用了一片M8单片机作为控制器，1个按钮用于循环改变采样频率，另一个按钮用来选择信号的耦合方式，直流或者交流耦合。

大家要问了，如何用一片 M8 单片机产生12MHz的采样时钟呢？呵呵，其实我对M8单片机进行了超频，使用24MHz的有源晶振作为它的时钟频率。然后，通过定时器2的比较匹配翻转电平，以产生不同的时钟。当*OCR2*=0时，单片机的OC2引脚就能产生12MHz的方波了。当然，如果大家不想超频，那么最高的采样频率就是16MHz的一半，8MHz了。因为，M8的技术手册上建议最高为16MHz的时钟，而比较匹配的最高频率为系统时钟的2分频，即8MHz。本次制作的源代码使用WinAVR编译。如果使用16MHz的晶振，请自行修改源代码。

主要零件

编号	零件名称	数量
1	ATMEGA8单片机	1
9	24MHz有源晶振	1
8	128x64液晶屏[ST7565控制器]	1
2	5532运放	2
3	AD603压控放大器	1
4	TLV5618[DA]	1
5	ADS830E[AD]	1
6	IDT7205	1
7	ILC7660	2
10	1117-5.0	2
11	1117-3.3	1
12	79L05	1
13	继电器	2
14	电容、电阻、二极管	若干
15	三极管	2
16	洞洞板	1
17	按钮	2

电路中，被测量的信号，经过500kΩ、480 kΩ、20 kΩ 电阻串联回路，通过继电器进入第 1 个运放，运放起

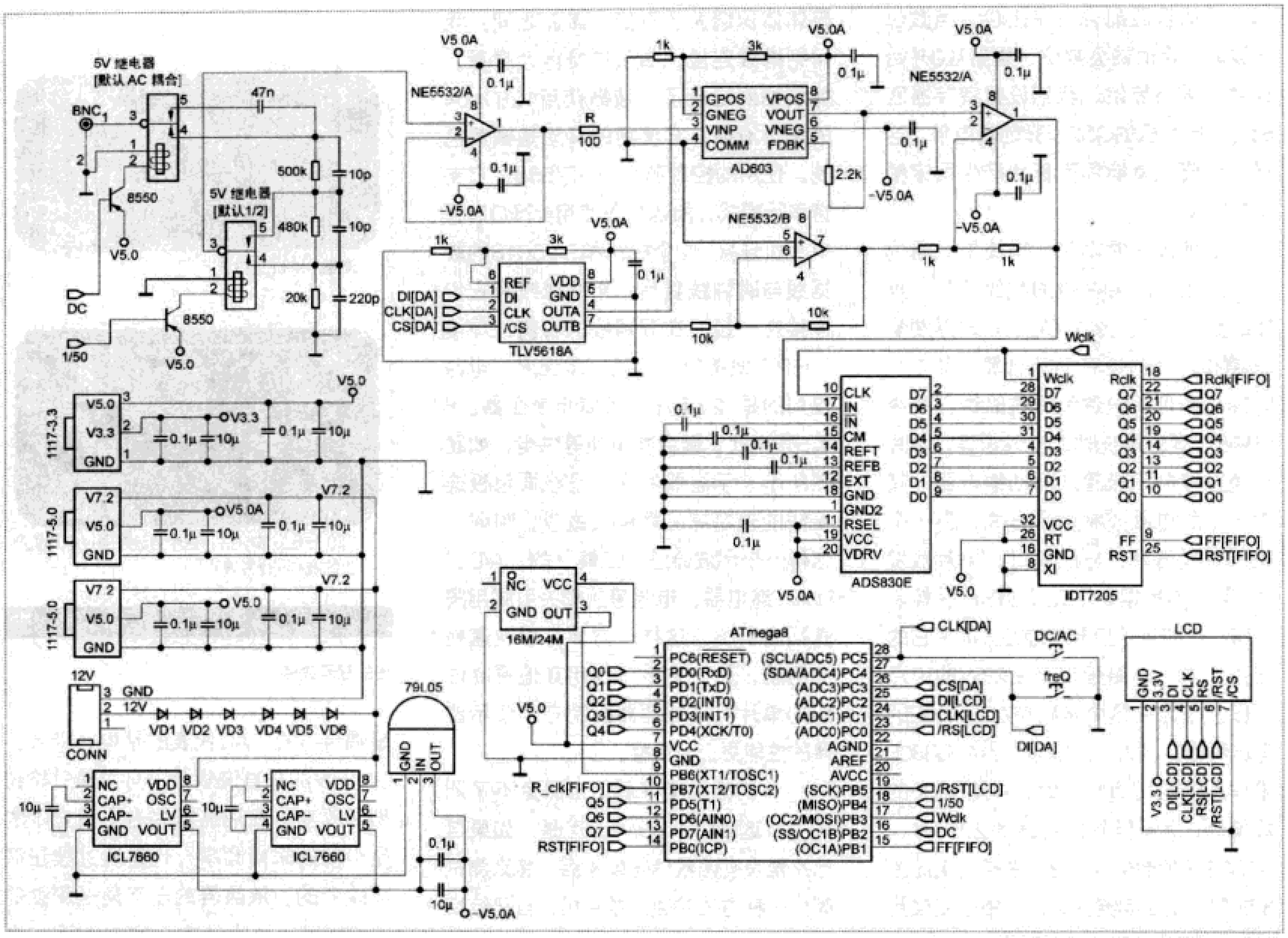


图1

到阻抗匹配的作用，因为 AD603 的输入电阻仅为 100Ω。单片机通过继电器选择合适的衰减倍数，在默认情况下，为 1/2 倍的衰减。在测量较大的电压时，单片机会选择 1/50 的衰减。选择衰减的目的是为了方便后期的 2 次放大。后期放大使用了一片 AD603，它是压控放大器。通过改变 GPOS（第 1 脚）与 GNEG（第 2 脚）之间的电压差，即可控制它的放大倍数。AD603 的 GPOS(第 1 脚）的电压通过一片 DA5618 控制，它是 12 位串口 DA，它的参考电压为 1.25V，由 2 个电阻分压而得。整个电路的运放可以使用 NE5532、AD8066、LM6172 等，它们的引脚都是兼容的。由于采样的速度比较快，远大于 M8 单片机的读取及处理速度，所以通过 IDT7205 来缓冲高速采样的电平数据。最后，单片机读取采样的数据，并在 128×64 的液晶上显示。

那么，如何控制采样电压呢？单片机程序会自动选择合适的电压挡位（即控制AD603的放大倍数）。当电压一直小于一定值后，那么程序会选择高灵敏度的挡位（即增大控制AD603的放大倍数）。同样，电压一旦大于一定值，就会选择低灵敏度挡位（即减小控制AD603的放大倍数）。这样，电压的选择就实现了自动的功能。我使用了一个按钮来选择频率，手动循环地选择不同的量程。

电源使用12V的电压，经过6个二极管降压，这时的末端电压为6～7V。通过2片1117-5.0V稳压。这样就有两路5V的正电源了。一路用在数字部分，另一路用在模拟部分。其中，数字部分，再经过1117-3.3V稳压，产生3.3V的电压，用在黑白液晶上。负压，通过ILC7760产生，并经过79L05稳压到－5V。这样，示波器所需要的电压就都有了。

程序控制

笔者觉得这套电路中单片机程序的精华算是软件产生示波器所需要的采样频率了。M8单片机有3路时钟，T0、T1和T2，其中T1和T2有CTC时钟模式，于是我就使用了T2时钟的CTC比较匹配模式。

那么什么是CTC模式呢？CTC也叫比较匹配模式，T2定时器运行时，会

和一个比较匹配寄存器比较。当数值一致时，定时器会复位，重新从0开始计数，周而复始。我们设置寄存器匹配时，单片机的OC2引脚翻转电平。这样，引脚上就能周而复始产生固定频率的方波了。

如何改变频率呢？很简单，通过改变比较匹配寄存器的数值即可。具体的数值，通过公式*OC2 = 时钟频率/2/需要产生的频率-1*来计算。其中，时钟频率可以设置为系统时钟、系统时钟8分频、系统时钟32分频等。单片机通过控制三极管来驱动继电器，其中一个继电器控制耦合方式，另一个控制衰减倍率。与此同时，单片机发送2字节的数据，让TLV5618产生控制电压，一路用于控制AD603，改变它的增益大小。一路恒定产生2.5V的中点电压。因为在这个电路中ADS830E的电压测量范围为1.5~3.5V，当ADS830E采样到的电压为1.5V时，ADS830E的数值为0，采样到的电压为2.5V时，ADS830E的数值为128，采样的电压为3.5V时，它的数值为255。由于我使用的是128×64的液晶，所以，把采集到的数据除以4压缩后，就可以方便地在128×64液晶上显示了。由于一个屏幕的波形，需要128个点显示，即128字节。因此，单片机最好有128字节以上的RAM来缓存数据。通过平均每点的数据，转换它代表的实际电压，即可计算出平均电压值。同时，比较数据，查出最大值和最小值，即可计算出峰峰值。最后，计算2次波峰间的点距，计算它代表的采样时间，即可得到波形的频率。具体的方法，请分析源代码吧。

制作过程

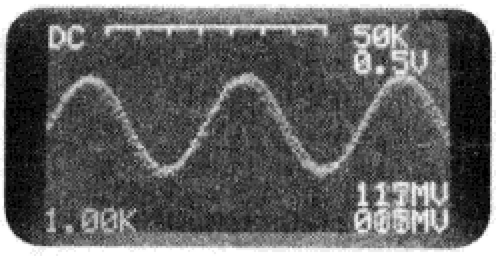
为了焊接方便，在制作前，我把贴片元件通过转接板，转接成DIP封装，以方便后期制作，见图2。这样，示波器的焊接将会变得简单些，不过整体体积增大了不少。器件之间，我用绝缘线连接。由于连接得太难看，就没拍照记录了。液晶使用128×64的黑白液晶，它使用的背光是橘黄色的。使用的控制芯片为ST7565。它支持串行模式，所以仅仅使用4个I/O口和单片机连接，2个按钮和TLV5618的数据线与时钟线复用，用绝缘线将它们连接在一起。在洞洞板的右侧，焊接了ISP下载接口，方便下载程序。电源使用的是12V电压，可以用变压器、8节5号电池、聚合物电池等供电，如题图所示。示波器的探头是在面包板连接线的末端焊上鳄鱼头做成。呵呵，这样一个示波器够“山寨”的。A/D、D/A、继电器、电源等的相关引脚用圆孔插座引出，这样一方面可以快速检测问题，另一方面可以用其他更高性能的单片机或处理器控制它，使示波器的性能更上一层楼。

一切都焊接好后，当然免不了测试一下这款“示波器”。可是，如果自己家里没有函数信号发生器，怎么测试呢？一种方法是通过单片机，自己编写程序产生指定的波形。另一种比较简单的方法是，下载测试用的音频文件到MP3、MP4、计算机等，通过音频线向“示波器”输出需要的波形。

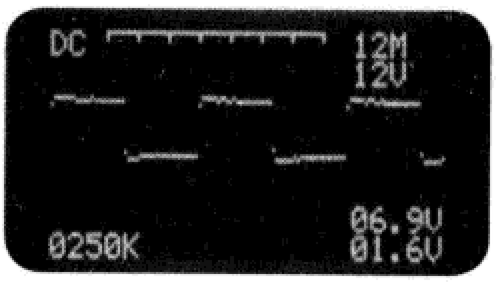
使用效果

测量的具体效果，如图3所示。在128×64的液晶屏上，左上角表示的是耦合方式，AC代表的是电容耦合、DC代表的是直流耦合，可以通过按钮循环改变。在液晶屏的右上角显示的是当前的采样频率，也是通过按钮循环改变的。液晶屏的左下角是测量的波形频率，程序测量2次波形频率，当频率一致时，才会显示出来。右下角的两个电压值分别代表波形的峰峰值和平均电压值。制作完成后，笔者感觉设定为50倍的采样率时，液晶屏能比较好看地显示出波形的整体效果。由此也可以认为，这个“示波器”的带宽仅为200~300kHz。不过，它还是能测量最高4MHz的频率，只是波形无法完美地在液晶屏幕上显示。具体的测试效果，可以看我用手机录制的视频。

这个DIY的简易示波器距离实际应用还有一段距离，但从这个DIY的过程中，笔者个人认为可以学到挺多东西的，如D/A、A/D、FIFO、运放等。还等什么，也动手制作一个吧！本制作的源程序、烧录文件、视频文件可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。



测量1 kHz正弦波



250 kHz方波（注：这个方波是通过单片机产生的250kHz方波）

图3 显示波形

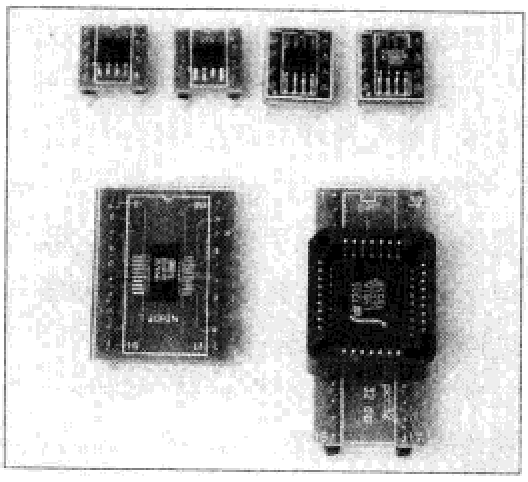


图2 转接的芯片

环保节能的零静耗彩电待机控制器

◎彭佩烘

彩电待机控制器电路在有关电子刊物上偶有介绍，有的也申请了专利。笔者对有关电子刊物上介绍的、市场上少量出现的种种红外遥控装置（包括红外遥控电子开关、彩电待机节电器等）进行分析研究及组装测试后，发现都存有较大的静态功耗，这主要是因为红外遥控接收头正常工作时需要一定的工作电流。

如何在确保红外遥控接收头正常工作的前提下，降低其工作电流呢？笔者在 2008 年初曾设计了一种独特的红外遥控接收头脉动式电源供电的方法。利用这种方法又设计出了实用的节电型红外遥控开关和节电型彩电待机供电控制器，实现了微静态功耗下的红外遥控。不过该装置多少还存有一定的功耗，更主要的是，对于控制器来说，也不算最安全。为实现彩电待机的无功耗和更安全，笔者设计并制作出了一款零静耗彩电待机控制器。

电路特点

1. 采用超级电容储电。彩电待机一定时间后,整个控制器脱离交流市电，实现零静耗遥控待机，控制器中的红外遥控接收电路由超级电容供电。

2. 采用双组触点继电器进行安全控制。彩电遥控关机后脱离交流市电，是一种安全的高标准待机方式，彩电不必长期暴露在交流电源环境中，不会受到电力网参数波动以及雷电的影响。

3. 红外线遥控接收头采用脉动式电源供电，这样可以大大降低其工作电流。

4. 红外线遥控接收头输出的信号经过了积分电路的处理，整个控制器的抗干扰能力特别强。

5. 采用了DC/DC变换技术，充分发挥超级电容的放电能力。

6. 继电器绕组中串接阻容以降低继电器吸合后的工作电流。

电路实物见图1。

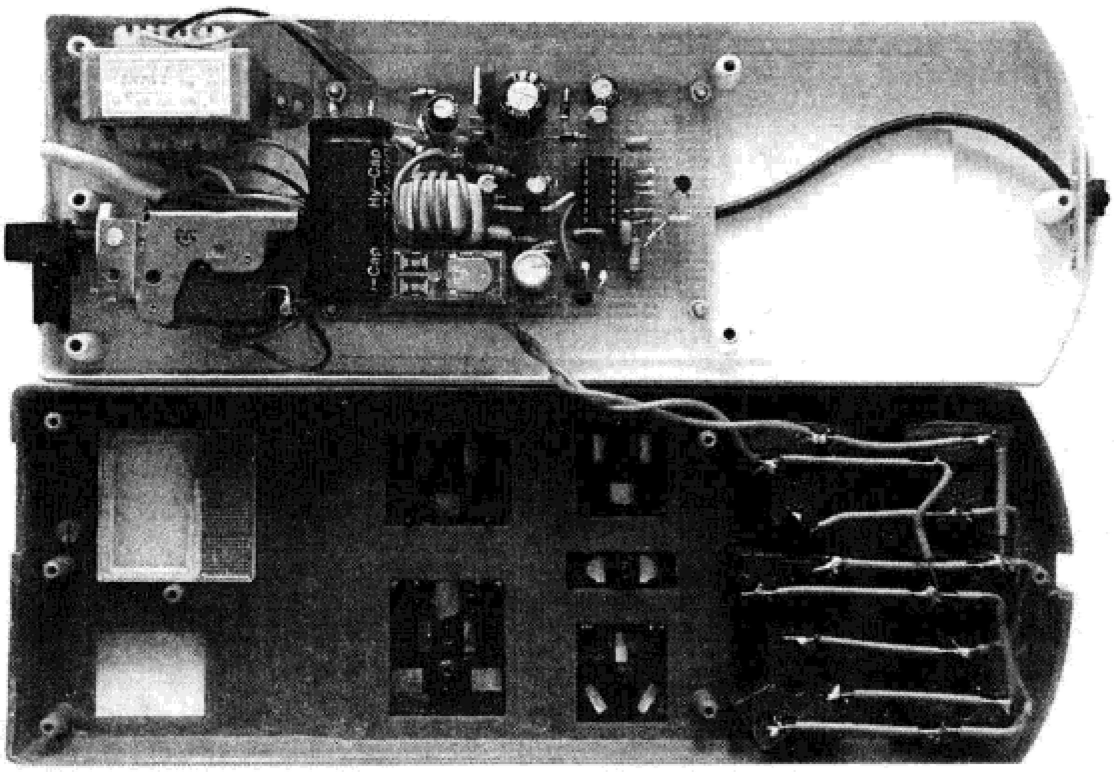


图1 制作好的电路实物

工作原理

这个零静耗彩电待机控制器的核心是采用了新型绿色储电元件——超级电容，再通过DC/DC变换技术，加上红外遥控接收头脉动式电源供电技术设计出来的。电路如图2所示。

超级电容又称法拉电容，特点是容量大、体积小、温度特性好、寿命长、功率密度大、可以大电流充放电，不会对环境造成污染。由于其容量很大，对外表现和电池相近，在一些场合可以代替可充电电池，因此也称作电容电池。其充放电过程始终是物理过程，没有化学反应，正因如此，超级电容可以反复充放电数十万次，使用寿命在30年以上。而一般充电电池只能充放电数百次，寿命短，对环境污染大。

图2中，按一下常开按钮SB后，220V交流市电送给插座CZ的同时加到

变压器T1上，经降压、整流、滤波后得到所需的直流电源。由于电容C5、三极管VT3的复位作用，不论电容C6上原来是否有电，对应反相器IC3A一定输出高电平，继电器K得电吸合，彩电由继电器触点供电。此时，如果插在插座CZ上的彩电正常收看，其功耗在40W以上，与插座串联的电流互感器T2次级输出一个较高的电压，反相器IC3C输出低电平，使继电器K一直保持吸合。在此期间，直流电经三极管V4向超级电容C8充电。刚开始的充电电流较大，与VT4的电流放大倍数有很大关系，考虑到变压器的负荷，三极管的电流放大系数选择50~80，对应最大充电电流控制在80~120mA。由于VD10的作用，超级电容上的最高电压只能充到2.5V。

由于VD6为普通硅二极管，VD7为肖特基二极管，因此经三端稳压器IC1后，在反相器IC3上建立的电压为5.4V。而由超级电容C8、DC/DC变换器IC2变压，经肖特基二极管VD11后，只能向反相器IC3提供5.2V电压，因此平时继电器的吸合是由三端稳压器提供的电流。由于继电器绕组电路中串接了一个电阻R2，R2两端并联了一个电容C4，继电器吸合时通过C4的作用能够可靠动作，继电器吸合后，R2的接入使电流大大下降。

当彩电遥控关机后，其功耗在15W以下，对应电流互感器T2次级输出的电压较低，反相器IC3C输出高电平，经电阻R8和电容C6一段时间（实测15s）的延时后，IC3A输出低电平，对应K释放，彩电被切断电源。此后反相器IC3上的电压由超级电容和DC/DC变换器提供，负载只是反相器IC3和红外接收头IR。由于IR本身工作电流就很小，再加上采用脉动式供电，因此一个100F的超级电容可以持续工作30多个小时。这期间只要按一下彩电遥控器上的电源启动按钮，对应IR第3脚输出一连串低电平脉冲，经VD16、VD17作用，加到C10两端，很快C10上会得到高电平，对应IC3B输出低电平，IC3A输出高电平，K吸合，彩电得电，并且随即在遥控器发出的红外线信号作用下也启动。由于R9、C10的积分作用，IR的第3脚输出的一两个干扰脉冲，或干扰脉冲虽然很多但不是密集的，都不会造成电路误动作，因此其抗干扰能力是很强的。

若彩电不是被遥控关机，而是被直接切断电源开关，十几秒钟后K同样释放，整个控制器进入待机状态。

如果过了超级电容的放电时间，想要启动彩电时，只要按一下常开按钮SB即可。

使用时，把此控制器放在彩电有遥控接收窗的一边，这样只要按一下遥控器的电源启动键，此控制器动作后，几乎同时彩电也动作，可以让原先处于遥控关机的彩电一下就遥控开机。

元件选择

超级电容C8选用100F，耐压为2.7V，也可选择容量更大的，对应遥控待机时间可以更长。DC/DC变换器IC2选用BL8530，输出电压为5.5V，这是一种开关型升压稳压芯片，效率可达85%，最低输入电压只要0.8V，最大输出电流达200mA，静态电流小于5.5μA。IC1为5V三端稳压器78M05，输出电流可达500mA。IC3为CMOS数字集成电路六反相器CD4069。变压器T1选用小型的3W/7.5V。电流互感器T2采用DZ L18－20漏电保护器（20A，220V/50Hz，额定漏电动作电流30mA）中的电流互感器，去掉两组初级绕组(每组只有2匝)，另外采用照明电路中使用的ϕ1.5铜芯导线或ϕ1.5漆包线绕5匝即可。

IR为一体化红外线遥控接收头，采用的是塑料封装，有3只引脚，即电源正（VDD）、电源负（GND）和数据输出（VOUT）。一体化红外线遥控接收

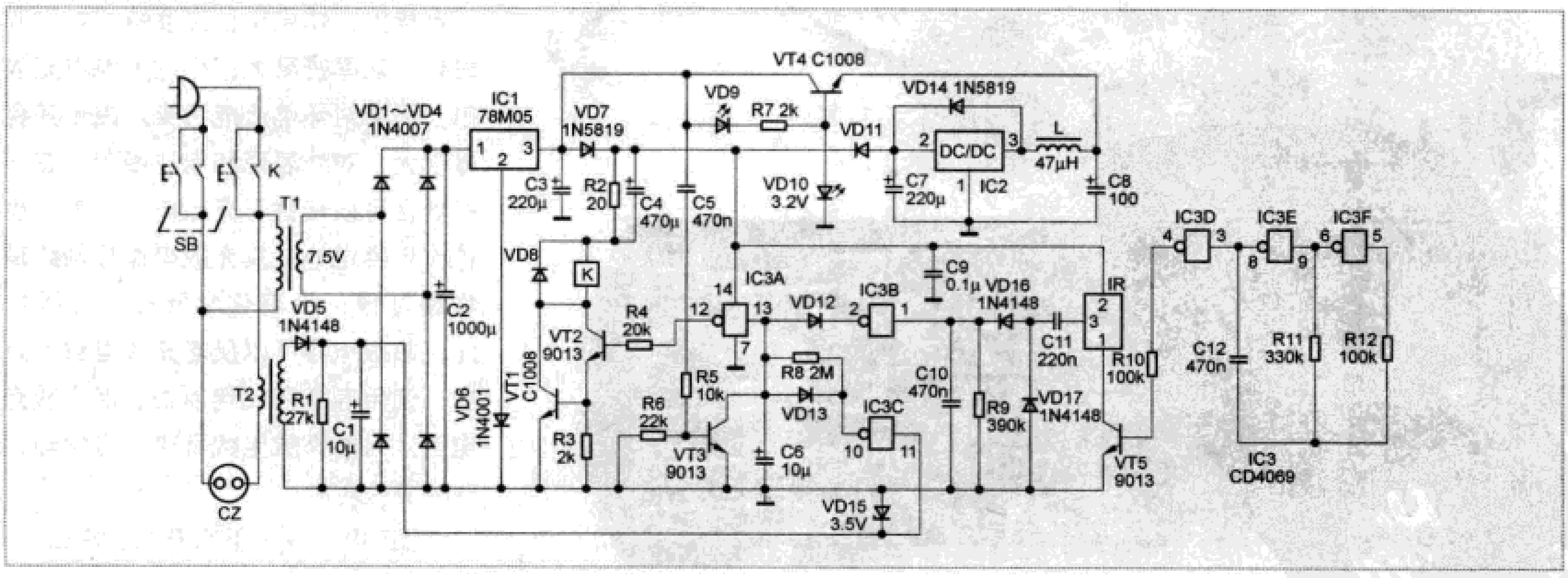


图2 零静耗彩电待机控制器电路

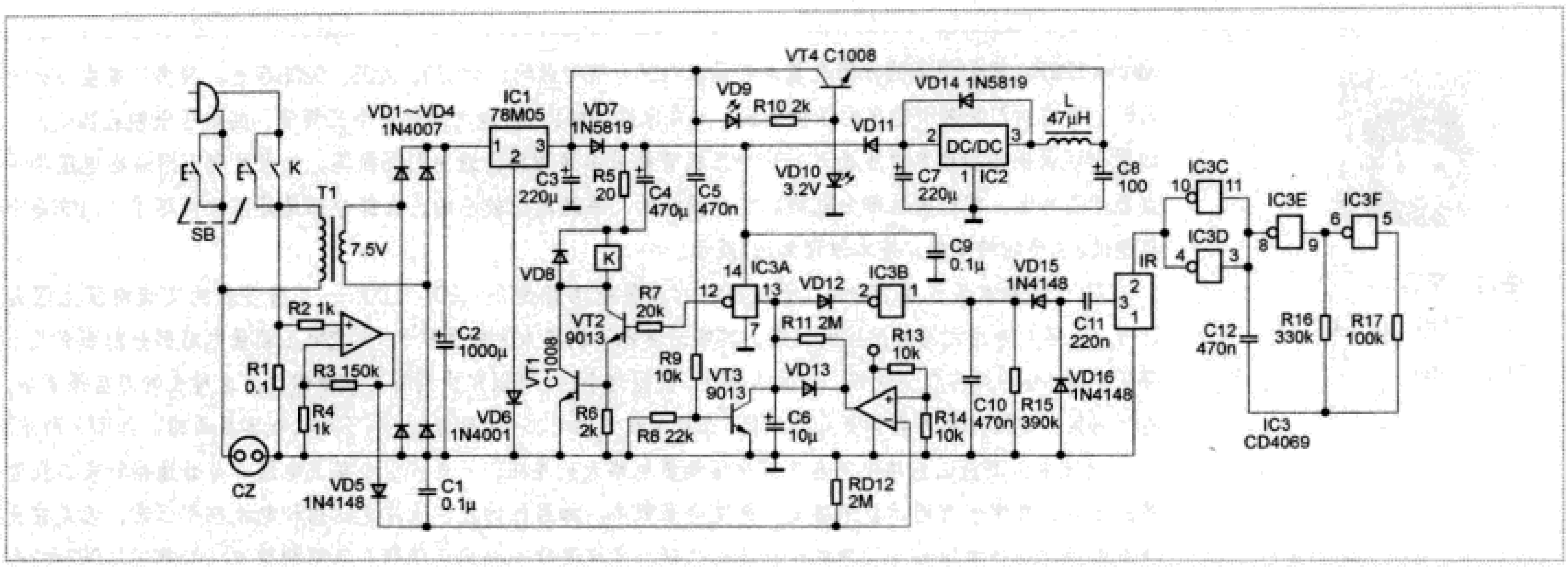


图3 改进后的零静耗彩电待机控制器电路

头是集红外接收、放大、滤波和比较器输出等的模块，性能稳定、可靠，使用非常方便。图中红外线遥控接收头IR采用的是TSOP1230，1脚为地，2脚为＋5V电源端，3脚为信号输出端。未接收到红外线信号时，3脚输出4.5V左右高电平。接收到红外线信号时，3脚输出一连串低电平脉冲。实测，在5V工作电压下，其工作电流为0.6mA。

继电器K选用JQX-14F，两组转换触点，触点负荷10A，绕组工作电压5V，实测电阻值为40Ω。只要继电器触点负荷选取不要太小，就可以胜任各种彩电的开关需求。由于是通过继电器两个常开触点进行彩电电源控制，彩电遥控关机后包括整个待机控制器都脱离交流市电，是一种安全的高标准待机方式。

常开按钮SB采用彩电中的电源开关，通过简单改动而成。只要把开关中原有的自锁功能去掉即可，这样既实现两组常开功能又保证有足够的触点负荷。电源变压器T1功率有2W就够了，由于所采用的排插有足够的空间，这里采用了3W。

三极管VT1、VT4选用2SC1008，其集电极最大电流为700mA，集电极最大功耗为700mW。VT2、VT3、VT5均为9013三极管。

VD1～VD4采用1N4007，VD6、VD8采用1N4001，VD5、VD12、VD13、VD16、VD17二极管均采用1N4148。VD7、VD11、VD14均为肖特基二极管1N5819，肖特基二极管的主要特点是正向压降只有0.3V。VD9为普通发光二极管，起电源指示作用。VD10选择正向压降为3.2V的ϕ5高亮度发光二极管，也可选择稳压值为3.2V或3.3V的小功率稳压二极管。刚开始通电工作时，由于超级电容C8上电压较低，VD10不发光，C8充电快结束时，VD10发光指示。VD15为3.5～4.5V小功率稳压二极管，起限压作用，把电流互感器T2次级经整流、滤波后的电压限制在3.5～4.5V。R1～R12电阻阻值分别为27kΩ、20Ω、2kΩ、20kΩ、10kΩ、22kΩ、2kΩ、2MΩ、390kΩ、100kΩ、330kΩ、100kΩ，除了R2功率为1/4W外，其余功率均为1/16W。C1～C4分别为10μF、1000μF、220μF、470μF/16V电解，C5、C10、C12为470nF，C6为10μF/16V电解电容，C7为220μF/16V电解电容，C9为0.1μF。L采用47μH色环电感。

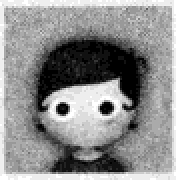
电路改进

为了让这个电路体积更小、取材更易，笔者又对此控制器进行了改进。去掉了电流互感器T2，采用一个0.1Ω的小阻值电阻串联在电器插座中进行负载电流检测，再通过LM324运算放大器进行电压放大、电压比较，去控制反相器CD4069的动作。彩电正常收看时，此0.1Ω电阻上的电压只有零点零几伏。由于彩电每次开机时，消磁电路工作需要较大的电流，因此这个0.1Ω电流检测电阻功率要选择2～3W。改进后的零静耗彩电待机控制器电路见图3所示。R2、R3、R4与LM324中的一个运放组成电压放大倍数约为150倍的电压放大电路，R13、R14与LM324中的另一个运放组成电压比较电路。另外，只要把运算放大器的电压放大倍数设计成2000多倍，即R3阻值增为820kΩ、R4阻值减为300Ω，同时R13阻值增为30kΩ，这样就可以用一段12cm长、截面积1mm^{2}的铜导线（阻值只有几毫欧）代替这个0.1Ω电阻进行电流检测，从而实现遥控待机控制。注意LM324的供电电源是取自于三端稳压器78M05的输出端3脚，不要取自于反相器CD4069的电源端。这样，当整个控制器处于遥控待机状态时，由超级电容提供的电源不会加给运算放大器。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　⇨回 复　⇨新 帖

常用数字万用表的检修问答（摘自中国音响DIY论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



整理：草音

加入日期：2010-08-18

帖子：666

winner1222：我们常用的万用表基本都是以7106为核心做的，如830、9205、9208等表。很多厂家在设计电路时会考虑对7106采用适当的保护措施，如在电路中的IN+与地之间接一个三极管，将电压限制在1V以内。如果出现误操作导致高电压进入，这个三极管将被击穿短路，避免7106损坏。如果发现万用表在电压挡一直显示0V的话，就检查这部分电路。芯片损坏的几率还是比较小的，大部分都是外围元件坏了。7106是个典型的3位半AD转换器，基本原理如图1所示。

7106 的基本量程是 200mV，所以相应的测量范围就是 2V、20V、200V……（很多表的交流电压上限是750V，主要是考虑元器件耐压的因素，其实通常也不需要太大的量程）。直流电压测量电路部分前面有几个分压电阻，分别对应各个量程。如果表坏了，根据这个图，可以很快判断出故障部位。这种表的刀盘很复杂，拆的时候一定要注意刀盘弹簧片的位置，查找走线方向时，一定要仔细，一不小心就容易看错。如图 2 所示。

交流电压测量的前端电路与直流电压测量电路大致相同，只是多了个整流电路。与普通指针表二极管整流不同，数字表都用运放来整流，精度会高很多。如果你的表在直流电压挡和电流挡都正常，但是在交流电压挡和交流电流挡有问题的话，不用怀疑，肯定是这部分出了问题。这里的整流一般都用TL062和2个1N4148，在电路板上很好找。如图3所示。

---

hzr917064：很好！楼主给大家提供了很好的资料。大家手头基本上都有数字万用表，出现各种故障也是常有的事。这些资料对大家会有很多帮助的。先赞一个！

---

gb2007：刚回家拿出表看了一下，是DiGiCEK DT890，用了一下，发现拆过几次再拨挡后就有些对不准表了，得轻动一下才能用，每个挡都是，电压也是时好时坏，准备拆开看看，谢谢winner1222。

---

winner1222：指针表的内阻都比较小，测不准的，数字表的内阻都在10MΩ以上，所以最好用数字表测。不能回0，可能是时间长了，电阻和电位器值发生了变化。自己调整一下吧。

---

gb2007：测试过了，那里有两个9014都是BC接在一起的，测试放大倍数都在350左右，现在是测5号电池的输出电压，平均下降0.2V左右，在1.3V左右。

---

winner1222：那两个9014是用来起保护作用的，拆掉之后电压不再下降的话，应该是三极管坏了，换掉吧，也可以不要，不影响使用的，不过保护功能就没了。电池的电压不一定准啊，新电池往往在1.6V以上，用一段时间照样下降到1.2V，甚至更低。你最好测一个准确的电压，或者用个准确的表先测下电池的电压。

---

chsiyi0842：最近我的胜利 VC9805＋，电阻挡两表笔短接总是读数太大，拆开了后，用 WD-40 擦洗了刀盘和印制板，装回就好了。刀盘是数字表易发问题的地方，接触刀片很小，一不小心就弄掉了，两片电路板上的集成都是贴片的了，看着很不爽！

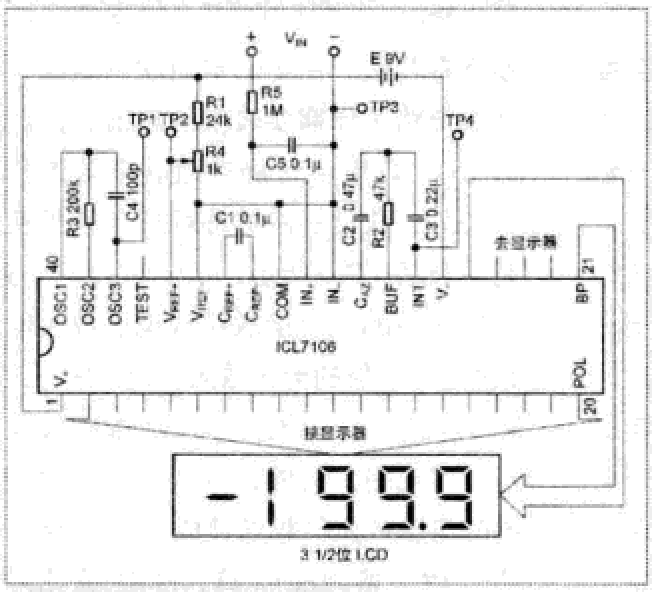


图1 三位半万用表基本原理图

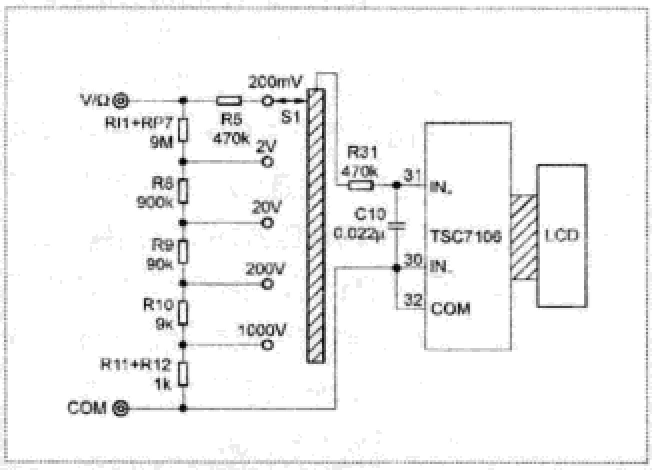


图2 直流电压测量电路

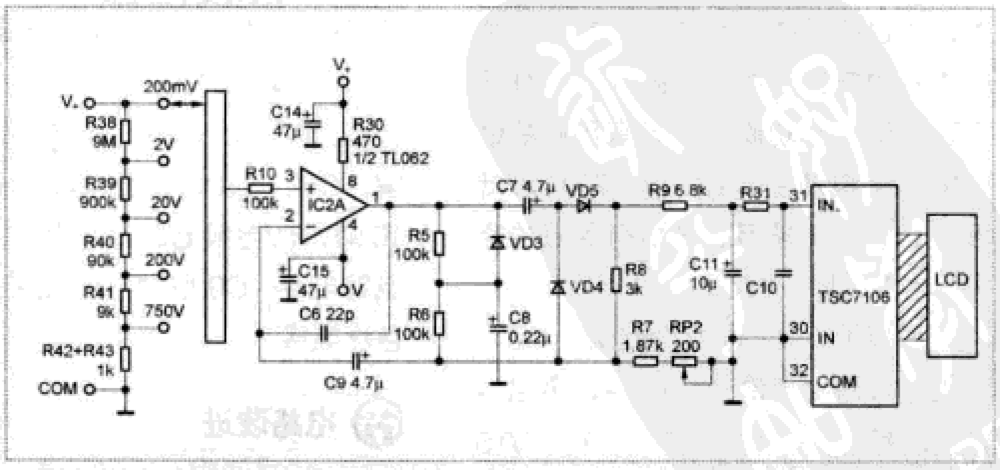


图3 交流电压测量电路

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　回复　新帖

常用数字万用表的检修问答（摘自中国音响DIY论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

1820：突然想到一个问题，请教LZ。我都拆过好些万用表了，绝大部分的表（包括廉价表）后背都有一层锡纸接地，作屏蔽用，但是反观FLUKE的11x系列、1xB系列等，都没有这个屏蔽层。加屏蔽和不加屏蔽的差异在哪里？难道FLUKE就不需要加也能到达同样的效果？谢谢！

---

winner1222：好的设计电路确实不需要屏蔽，或者部分屏蔽。FLUKE很多表在后盖上没有屏蔽，只是在正面按键位置的外壳上有导电涂层。一般只是把几个分压电阻和交流频响补偿位置屏蔽，这些位置很容易受干扰，造成读数乱跳。有些表在外壳上喷有一层导电涂层，不用锡纸。低档表才会用这种办法。

---

w68224413：请问楼主，我把万用表接成电流表测试电流，在电流表上并联一个开关。开关闭合的时候，电流是往电流表走吧，我把开关打开的时候，理论上，电流是往开关走，电流表近似被短路。但是，开关打开的时候，电流表还是有显示电流值，值大约是总电流的30%～80%。这是什么原因呢？

---

winner1222：你肯定是在10A挡吧？大电流挡表里的采样电阻都是铜丝，电阻只有0.1Ω，加上其他接触电阻也不到1Ω。而你并联的开关，即使是接通的，也有接触电阻，跟万用表的内阻差不多了，开关接通的时候成了两个电阻并联了，万用表测得的电流自然就不准了。

Luo：为什么测交流电压时，真有效值表测的是218V，普通表测的是226V呢？差异有8V?

---

winner1222：表都有误差，不敢保证你那两个表都没有误差，所以不奇怪。严格说来，真有效值表更精确一些，当然，前提是进行比较的表都是准确的，最起码要在允许的误差范围内。因为电源并不是纯净的正弦波，真有效值表可以测叠加了三角波、方波或者其他杂乱信号的交流，是比较准确的。但是，普通表只能测纯净的正弦波时才能准确。

福建：我有一块DT890B+表，电阻挡基本准确，但直流电压和交流电压挡测的值均比实际值大好多，是哪个地方有问题？

---

winner1222：这个应该是基准漂移了，造成电压电流不准。而电阻挡是用标准电阻与待测电阻进行比较测量的，只跟比值有关，所以基本不受影响。看看7106的36脚的电位器是否有问题，如果电位器正常，就参照一个好表，调节电位器来校准，最好是更高级别的表，至少要4位半的。校准时放在直流200mV挡。

---

llmtz：9807a+二极管挡表笔短接，显示为003.9！电阻200Ω挡短接，显示为00.55！数值都是从大一直下跌到这两个数值，然后固定的！还有的情况是，直流电压挡测量的读数不能固定，同一块稳压电源板所测的数值在±2V左右不间断地上下浮动。

---

winner1222：你这个故障看起来比较复杂，没有经过实际检查，也说不上是哪里有问题。直流电压挡测量的读数不能固定，试着把31脚和30脚之间的电容换了试试，二极管挡表笔短接显示为003.9，显示就不对，应该不会出现前面的2个0啊，要不就是芯片坏了。

Goodbaby：楼主，可否说得再详细一些呢，上面有4个集成电路，都是14脚的，还有一个绑定封装的，我估计那是液晶的显示核心。

---

winner1222：绑定的芯片就是7106，软封装的IC对应的引脚是哪个，我也不大清楚，手头也没实物可查看，你查一下线路，对照7106的电路，应该就是最上面两个电位器其中之一。

Goodbaby：刚才试过了，最上面的两个电位器都不是，无奈将板子上所有的都动了一下，找到了，是最上面靠边的那个，因为不是搞维修的，手里也没有基准电源，只好从电脑的USB口上取了5V的电压，用来校准，估计差不太多。校完了测量以前测过的电路电压，基本正确。动了其他的电位器不知道会影响什么，只能慢慢看了。以后有机会找到专业的仪器再重新试探其他电位器的作用，届时也将各电位器的作用标在图上贴出来，希望对其他朋友有用。

---

winner1222：有两种业余条件下的校准方法：1.用一个更高级别的表作对比，比如用一个4位半的表来作对比，将要校准的表调整到和4位半表一样的度数。2.用一个TL431做基准，得到2.5V电压，这个电压还是比较准确的，业余条件也够用了。用要校准的表测量此电压，调节电位器，使万用表显示2.50即可。

---

ludonghai-1：TL431做基准。2.2kΩ电阻精度要求高吗？因购高精度电阻难，自制了一个2.18kΩ电阻，作测试的两块数字表分别显示2.45V、2.49V。又测试了两块机械指针表，分别是10型、12型，指示都为2.5V。我的数字表正常吗？

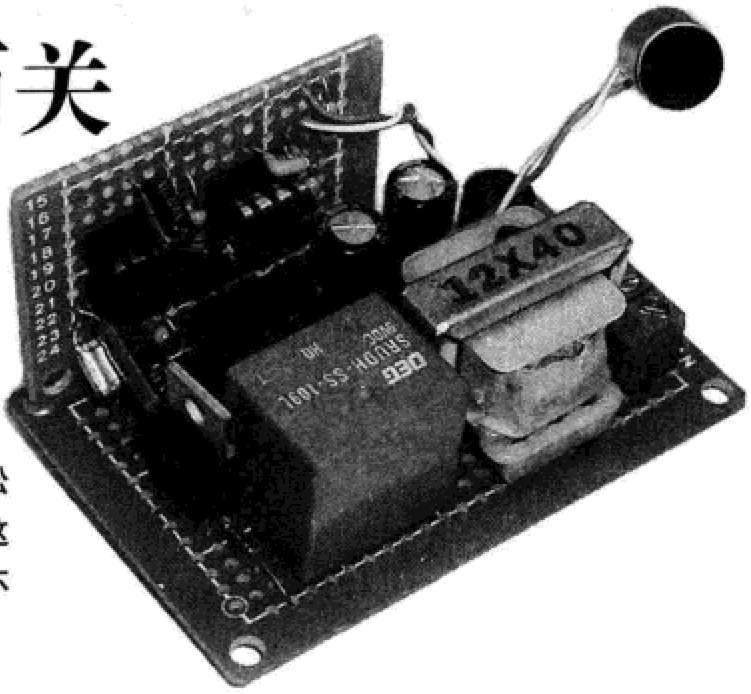
---

winner1222：那个电阻没有精度要求的，只是个限流电阻，保护TL431的测试情况基本正常，误差可以接受！

让卧室照明灯应声而关

——灵敏可靠的掌声控制开关

◎茅凌云



记得有次在电视里看到，晚上主人公躺在床上谈话结束准备入睡，轻松击掌两次，房间的灯就应声而灭。当时好是羡慕，琢磨着以后也要做一个这样的东西。以前做过一个卧室无线遥控的开关灯装置，用了几年，效果还不错。去年因为房子翻修，把遥控器弄丢了，虽然没有遥控器也不影响使用，只是无法遥控开关灯了，但还是觉得不习惯、不方便。

前些日子有点空闲的时间，在一个周末，决定动手做一个这样的声控开关。动手之前，笔者对一些类似电路做了一些对比和研究，发现可靠性和灵敏度是该装置是否有实用价值的关键。虽然声控开关灯容易实现，但要达到灵敏度和可靠性兼顾却需要谨慎考虑。

大多数声控电路，通过三极管模拟电路将信号放大，再进行处理，去触发一个双稳态电路，以此实现负载的开关。虽然这样的电路也可以工作，但很不稳定。这种电路，笔者最初试验过，无法达到满意的效果。灵敏度调高一些，电路误触发的频率就会很高，电路的响应时有时无，有时手掌都拍红了也没反应。可以想象，如果在卧室里，睡觉前还要这样折腾，那将是场噩梦。在确定最后方案之前，笔者先后设计测试了几种电路，在面包板上进行测试对比，获得了一些经验和数据，最后确定了以图1的电路为最后方案进行制作。

在电路中，笔者用运放来控制，就可以定量、准确地掌控电路的灵敏度和可靠性。另外，关于光敏控制部分，我没有采用常见的三极管电路（存在一个线性区），也是通过运放来控制，也许有点“大材小用”，但为了电路可靠，也是值得的，而且电路也不复杂。当然，还有些其他方法可以提高这个电路的性能，但就笔者实际使用的情况来看，已经达到了预期效果。

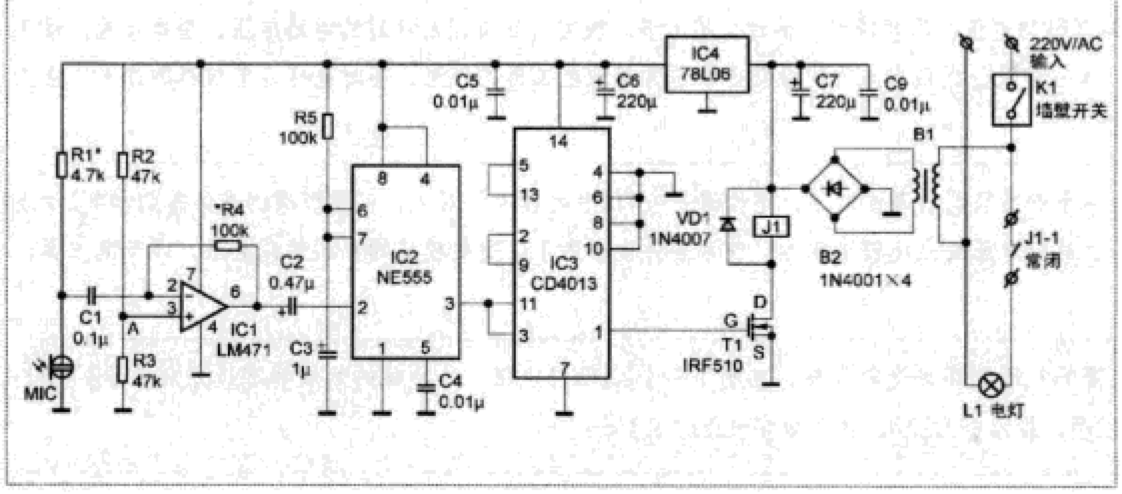


图1 电路原理图

电路原理

电路很简单，主要分为3个部分：(1) 声音检测，放大处理部分；(2) 触发信号的转换及整形；(3) 信号执行、输出部分。下面分别介绍：

(1) 声音检测部分由IC1 (LM471) 组成，是电路成败的关键部分。采用体积小的驻极体电容传声器（MIC），将外界的声音信号转换成电信号。微弱的声音信号通过C1被送入由IC1组成的高倍数运算放大器进行比较和放大处理。声频电压信号输入是从IC1的2脚（负端）接入，正常时，IC1的输出端6脚为低电平。 IC1的3脚通过电阻R2、R3分压，为电路提供一个比较用的参考电压（A点），这里设置为电源电压的一半（3V）。这样就意味着通过C1过来的声频信号电压的强度要超过IC1的3脚的参考电压（3V），输出端IC1的6脚才会输出高电平，而一般的杂音信号无法通过这个门槛而视为无效信号。由于R4的存在，使得电路的增益为100倍（以图1的参数为例），

通过3脚电压门槛的声频电信号被放大到足够高的幅度，去触发后面的电路。

这里我们也可以看出，对灵敏度和可靠性的控制，也可以通过调节参考电压（A点）的值实现。

在保证可靠性的前提下，这部分电路也决定了电路的灵敏度。传声器MIC对声音的灵敏度可以通过调节其偏置电阻R1来达到最佳效果。同时，R4的阻值大小也直接关系着信号放大倍数，读者可以根据自己的使用环境，适当调节R4的阻值来控制电路灵敏度。R4的阻值越大，电路的灵敏度越高。而可靠性也会下降。

从几种电路实验测试的结果看，采用运放电路是最可靠和灵敏的，其可靠性和灵敏度可以根据使用情况定量设定。

（2）触发信号的转换及整形。由IC1（LM471）输出的声音触发信号，通过C2后用来触发由IC2组成的可控单稳态触发电路。所谓的单稳态，就是电路会在一个状态维持一段时间后自动回到起始状态。静态时（起始状态），电路处于待命状态，IC2的输出端3脚为低电平。当有足够强度的声音（如掌声）信号被放大，并从IC1的6脚输出，通过C2触发IC2电路翻转，IC2的输出端3脚为高电平，并维持约0.1s（可以通过公式 $T=1.1R5\times C3$ 计算出）后回落到静态的低电平，从而完成一个正脉冲的输出。这样，由MIC输入的杂乱无章的声频电压信号被转换整形成规则的方波信号供后面的电路使用。

（3）IC3（CD4013）、VT1、K1组成了执行部分。为了提高电路的可靠性，IC3的接法要求能达到连续两个触发信号才能使电路翻转成高电平的目的，即：连续击掌两次，IC3的1脚输出高电平并保持，使VT1导通，K1动作吸合。同样，再连续击掌两次，IC3的1脚输出低电平并保持，使VT1截止，K1释放断开，从而实现控制电灯的开关功能。这种二次触发方式，进一步提高了电路的可靠性。

变压器T1、整流桥B2、C5～C9以及电源稳压集成电路IC4（78L06）组成电源部分，为控制部分提供稳定的6V直流电压。这个电路功耗非常小，工作时（继电器K1吸合时）为28mA，待命状态时为8mA。考虑到安全及长期工作的可靠性，这里没有使用常见的电容降压电路为控制部分提供电源，而是采用传统的变压器降压形式来实现。虽然成本偏高，电路复杂一点，体积也会有所增加，但电路安全可靠了很多。

这里需要说明的是，笔者的设计主要考虑的是卧室用的声控装置，为了尽可能减少电灯改造的麻烦，这里没有用该装置去替换原墙壁开关（S1）部分，而是用S1的常闭触点接在电灯前面部分（见图1），这样保证了对原电路没有影响，即使声控部分停止工作，墙壁开关（S1）依旧可以正常使用。

器件选择与电路制作

电路均采用常见的通用元件，可以根据图1标注的参数选择器件。其中标有*的也许需要根据实际情况稍做调整。驻极体电容传声器（MIC）对电路的灵敏度有影响，要注意选择质量好的为佳。图1推荐VT1采用场效应管，如没有也可以用普通的8050替换，但VT1的基极前需要增加一个22～47kΩ的电阻，电路的功耗也会有所增加。B2建议采用IN4007，而不是常用的IN4148。继电器K1在确定电源电压的情况下，尽可能选用吸合电流小的，其触点的功耗由所控制的负载功率决定。集成电路（除IC4）的接入建议都采用插座形式。

图2为电路安装好后的实物照片。由于笔者手边现成的电路板尺寸的限制，笔者将电路分成了两个部分，这并不是最佳的布局，建议读者不要参考。

电路的调试和使用

图1电路经过实际使用，只要接线正确，无需调试即能正常工作。但每个装置的实际所处的环境不同，这里还是对该电路的调试作个说明，使该装置更有通用性。

电路接线完成并仔细检查无误后，不要安装集成电路（IC1、IC2、IC3），便可开始对电路进行测试和调整。电路的调试分几步进行：

（1）测试电源部分，确保电源输出电压是稳定的6V，并检查IC1、IC2、

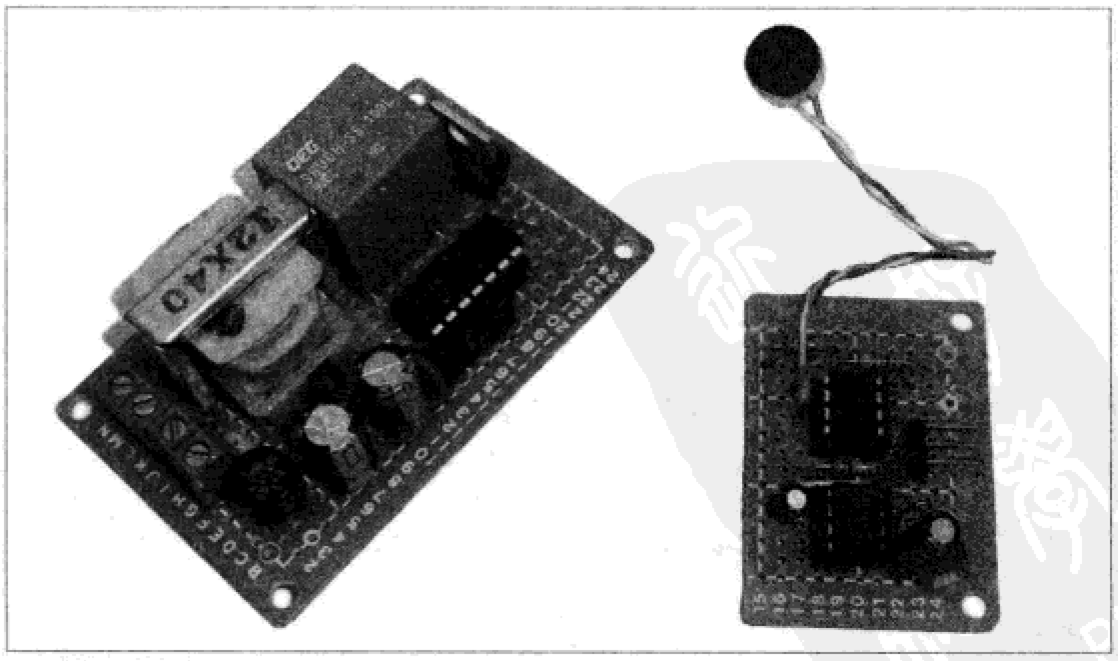


图2 焊接好的电路

IC3 插座的电源电压是否正常；

(2)用电压表测试 IC1 插座的 3 脚，检查电压是否为 3V，无误后插入 IC1，并监测此时电源部分的工作电流，为 1~2mA。

(3) 置入 IC2，并在 IC2 的输出端 3 脚串连一个 220Ω 电阻和 LED 到电源负极。此时，如果轻轻击掌，LED 应该随着每次的掌声发光闪动。这时可以在该电路装置将要安装的地方进行模拟测试，保证在房间的每个位置，该装置每次都能正常响应你的掌声。前面笔者解释过，电路的灵敏度由 MIC 和 R1 的阻值决定，需要读者在您实际使用的环境中综合考虑。图 1 的参数是笔者实际使用的参数，只需连续轻轻击掌两次，电路可以正常开关，因为卧室通常比较安静，平时也没出现过误动作的情况。

(4) 最后，拆除前面测试用的 LED，置入 IC3，再次测试整机电路。此时可以通过监测整机电流来检测电路工作状态。K1 吸合电流约为 28mA。

电灯部分的改造

卧室内一般都为壁灯和吸顶灯，改造很简单（见图3）。为确保安全，安装电路前，整个家里的总电源务必切断（而不仅仅关闭要改造的房间灯的墙壁开关）。打开灯罩，找到与灯泡座连接的电线，将其切断，按照图1所示接入该电路即可。

之后，盖上灯罩，恢复家里的总电源，打开墙壁开关。此时卧室的灯应该像平时一样点亮，轻轻连续击掌两次，电灯应该应声而灭。再次击掌两次，又应声而亮。

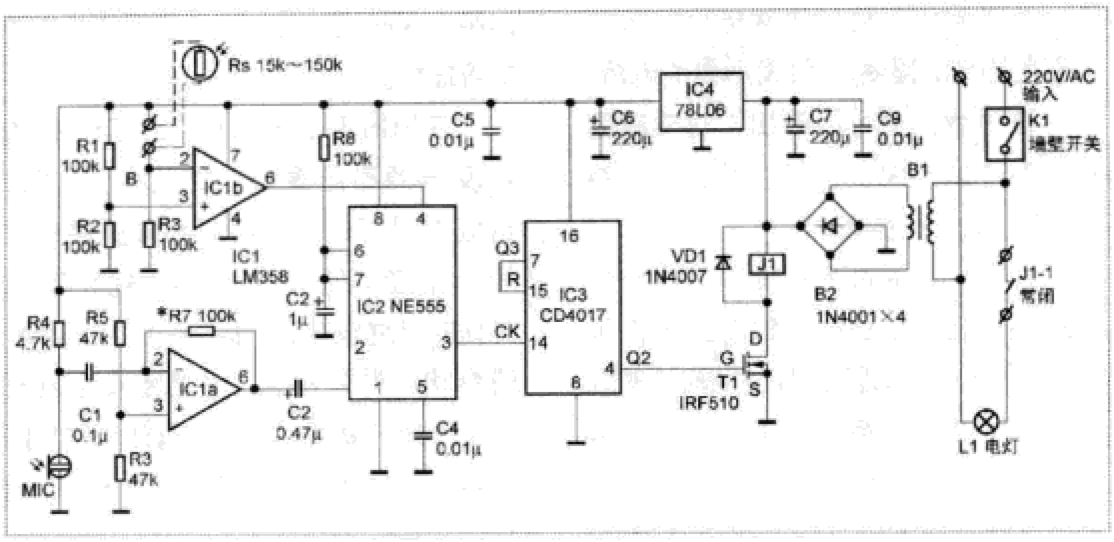


图4 改进的电路

虽然改造过程很简单，笔者这里还是要强调和提醒大家谨慎操作，注意安全，以免触电。特别是通电前，应该反复对照检查，确认无误后方可通电试验！

电路的改进

有些使用环境，为了节约电能，需要确保在白天的时候电路不致误动作。这时，可以参考图4电路。这里IC1采用一块双运放（LM358）集成电路，其中IC1a延续了图1中IC1的作用和功能，IC1b接成了一个可调节的亮度检测电路。

白天时，光敏电阻的阻值很小，IC1b负端（2脚）输入电压（B点）高于IC1b的正端（3脚）的参考电压（3V），输出端（6脚）为低电平，IC2的电位被嵌位在低电平状态，使IC2（NE555）处于强制复位状态而不工作。此时，不管触发信号为何种电平，IC2的输出端保持在低电平状态，电路不会工作。

当外界光照下降到一定程度（如黄昏后），光敏电阻Rs阻值增加很多，导致IC1b负端（2脚）输入电压（B点）低于IC1b的正端（3脚）的参考电压（3V），输出端（6脚）为高电平，此时IC2强制解除，开始像图1电路一样正常接收、处理声控信号。

IC3组成输出控制部分，与图1电路有所区别，这里采用的是CD4017来实现输出控制。连续收到两次击掌信号后，IC3的4脚（Q2）输出高电平并保持，VT1导通，K1吸合。此时再击掌一次，IC3的Q2输出为低电平，VT1截止，K1断开。同时，由于Q3（7脚）与复位端R（15脚短接），电路复位待命，等待下次循环的到来。

制作和使用时，对光敏电阻的选择和安装有一定要求。光敏电阻的亮阻值为 10~15kΩ，而暗阻值至少在 100~150kΩ 以上。适当调节 R3 的阻值，也可以对光控部分的动作进行调节。

安装光敏电阻时，可考虑用黑色的电工胶布将光敏电阻贴在房间的玻璃上，用于检测室外的亮度，而又不受房间内的光照影响。

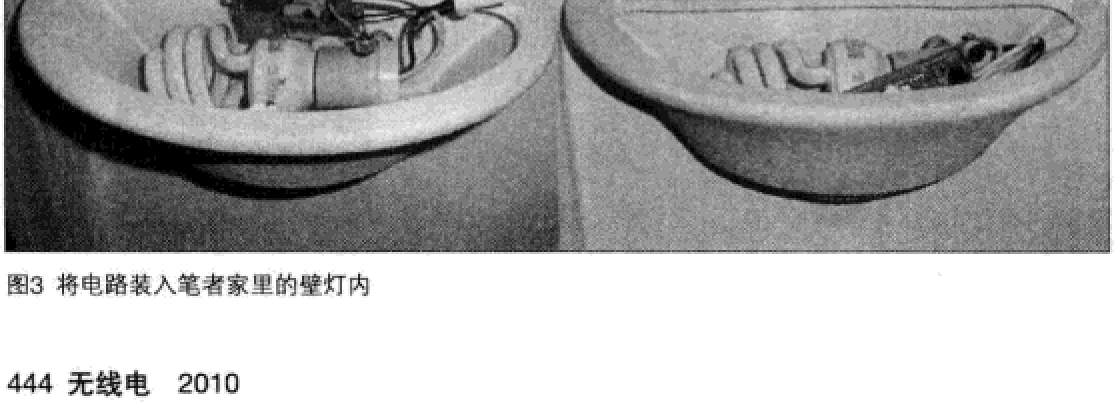
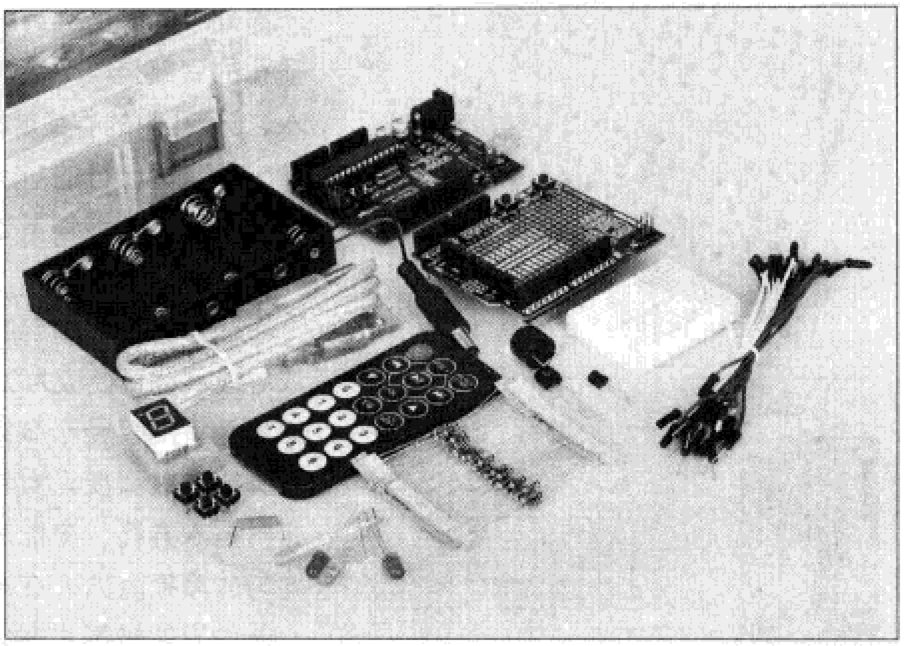


图3 将电路装入笔者家里的壁灯内

玩转Arduino

用入门套件开启Arduino的精彩之旅



◎刘英杰

一直以来我就对电子制作很感兴趣，也想学点知识做出属于自己的作品，特别是在看到其他爱好者的作品之后，我的思想再一次波动，是该学点东西啦。可是从哪里入手呢？元器件、单片机还是模块电路？

一次偶然的机会，一位电子发烧友向我推荐了一种叫做Arduino的系统，就是《无线电》杂志2010年第9期介绍的那个系统，感觉很适合我学习。虽然Arduino的核心芯片也是单片机——AVR单片机，但是Arduino的硬件平台是一块开放源代码的Simple I/O平台，电路图也是开源的，Arduino的软件开发平台也是开源的，Arduino的资源都可以免费下载，这对初学者的我而言，学习的资源很丰富。Arduino的开发语言是建立在C/C++基础上的，其实也就是基础的C语言，Arduino语言只不过把AVR单片机（微控制器）相关的一些参数设置都函数化，不用我们去了解他的底层，让我们不了解AVR单片机（微控制器）的朋友也能轻松上手，学习的门槛也低了很多。

据我了解，在国外使用Arduino的用户，不仅是电子或者计算机相关专业的爱好者，其他行业，如：媒体艺术者用来作出根据自己的想法可控灯光效果或者媒体互动的作品、园艺设计人员使用Arduino开发自己的智能浇灌系统、模型爱好者用在自己的无人飞机及其模型车上、无线电爱好者使用Arduino组成全自动莫尔斯电码解调器等，都在使用Arduino这一灵活方便的开发环境。

了解了Arduino平台后总想动手实践一下，我选择了一款Arduino基础入门套件来练手，套件里的器件简单易学，还配有相应的教程，很适合初识Arduino平台的爱好者。利用这些器件，可以实现广告灯、模拟警笛声、掷骰子、抢答器、火焰报警、遥控等有趣功能的实验。因为套件里备有面包板，所以每个电路的制作过程都很简单，无须焊接，直接在面包板上插拔元器件，让我们可以快速使用Arduino做出有趣的东西。

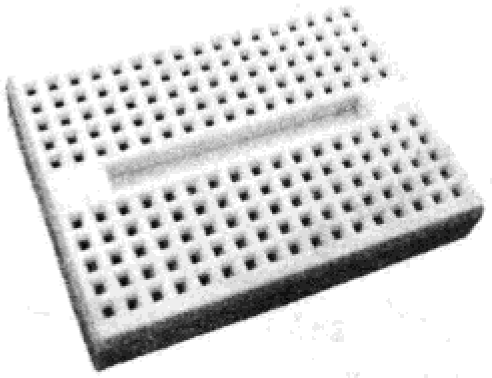
在制作过程中，我一直有一种回到孩童时期玩积木的感觉。如果说孩童时期是用木头或塑料积木堆出各种形状的物体，那么现在就是用电子积木制作出具有各种趣味功能的电路。最重要的是，在体验乐趣的同时，我们可以学到如何搭建具有某种功能的电路，学到如何根据硬件构成去编写对应的程序、硬件与软件之间如何配合，还可以了解常用电子器件和传感器的使用方法。

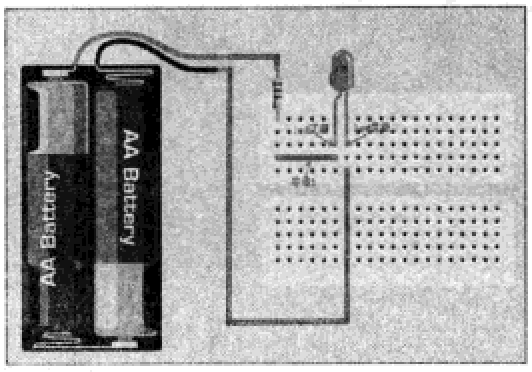
下面我就以“掷骰子”的实验为例，为大家介绍这款Arduino基础入门套件的使用过程。附表为实验所用的材料表。

我要特别向大家介绍一下mini面包板的使用方法。mini面包板可以配合Arduino各种型号的ProtoShield（原型扩展板），自带双面粘胶，可以粘贴到各种开发板、扩展板上，也可粘贴到各种轮式机器人或履带式机器人基板

材料表

编号	零件名称	数量
1	Arduino 328控制板	1个
2	Prototype shield 扩展板	1个
3	面包板	1个
4	LED灯 红黄绿	各2个
5	蜂鸣器	1个
6	6×5按键开关	4个
7	数码管	1个
8	倾斜开关	1个
9	光敏电阻	1个
10	红外接收三极管	1个
11	温度传感器	1个
12	红外接收头	1个
13	电阻220Ω、1kΩ、10kΩ	各3个
14	6节5号电池盒	1个
15	USB线	1条
16	面包线	10条
17	mini遥控器	1个





元器件在面包板上的连线示意图

上实现个性化功能调试，体积小巧，仅有45mm×35mm大小，是Arduino互动媒体爱好者、机器人发烧友、电子爱好者和电子工程师必备用品。

这款套件所配的mini面包板一共具有170个插孔，10行17列。以中间的长槽为界，分成上、下两部分，每一部分都是5行17列。从图中可以看到在每一部分中的每一列有5个插孔，这5个插孔的底部是一个金属簧片，因此插入这5个孔内的导线就被金属簧片连接在一起。每一行的17个孔是不通的，所以横排上的器件要连通的话，需用导线连接。

注意，插入面包板上孔内的引脚或导线铜芯直径应为0.4～0.6mm，即比大头针的直径略微细一点。元器件引脚或导线头要沿面包板的板面垂直方向插入方孔，应能感觉到有轻微、均匀的摩擦阻力，在面包板倒置时，元器件应能被簧片夹住而不脱落。面包板应该在通风、干燥处存放，特别要避免被电池漏出的电解液所腐蚀。要保持面包板清洁，焊接过的元器件不要插在面包板上。

了解了以上内容后就跟着我一起动手制作一个掷骰子的电路吧。

1 将面包板背面的胶纸揭下来，粘在Prototype shield扩展板上。把贴有面包板的Prototype shield扩展板插在Arduino 328控制板上。

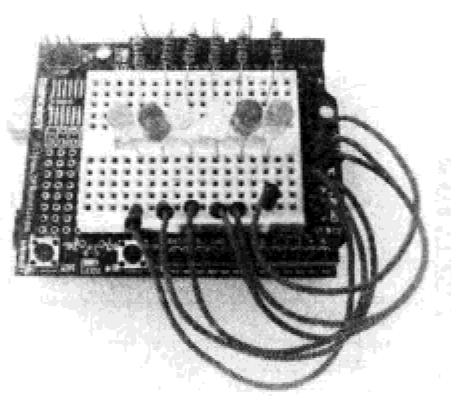
2 在用数码管之前，我们先要测试出数码管是共阴极还是共阳极的，还有数码管的每个字段是由哪一个引脚控制的。

我们先将套件中的电池盒装满1.2V左右的5号电池，然后连接到我们刚才已经插好的控制板上的电源接口，这时扩展板上面标有5V的插孔就有电了，拿一根面包线插在其中任意一个孔中，面包线的另一端串接一个220Ω的电阻，电阻的另一端我们把它称作A端（VCC），再拿一根面包线插在扩展板上标有GND的插孔中，这根面包线的另一端我们把它称作B端（GND），我们将A端和B端接在数码管的任意两个脚上。

让数码管的笔画发光的组合有很多，找到一个就够了，然后B端（GND）不动，用A端（VCC）逐个碰触剩下的脚，如果有多个字段（一般是8个）发光，那它就是共阴的了，且B端就是公共极。相反，用A端（VCC）不动，B端（GND）逐个碰触剩下的脚，如果有多个字段（一般是8个）发光，那它就是共阳的了，且A端

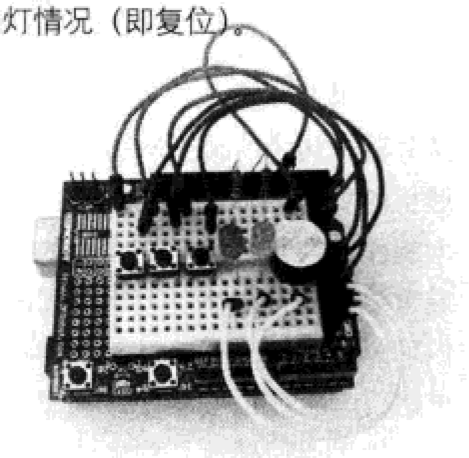
广告灯实验

从这个实验中，我们可以学到LED的基本应用电路、多个LED灯一起如何配合使用、C语言编程中for循环语句的使用。将相应的程序下载到实验板后，我们可以观察到6个LED可以以不同的规律循环发光，非常漂亮。



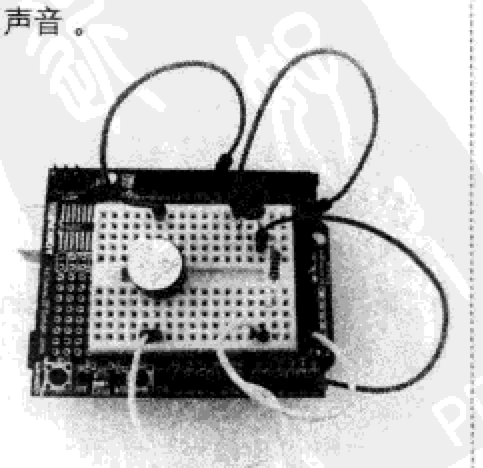
抢答器实验

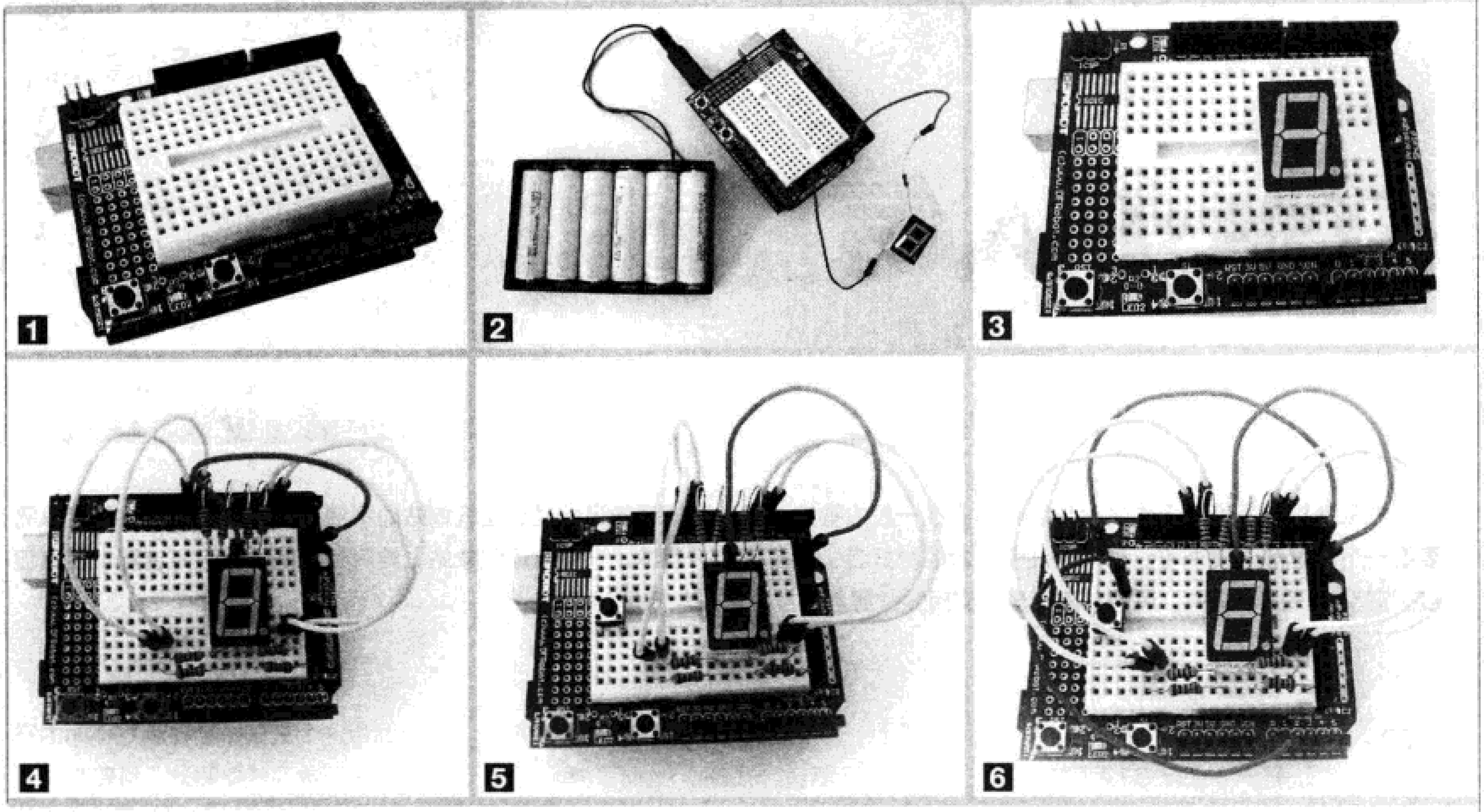
从这个实验中，我们会学到：按键和蜂鸣器的结构，使用方法，如何用程序完成按键、LED 灯与蜂鸣器之间的配合，如何用程序消除按键的抖动。这个电路可以完成抢答器的功能：谁先按下按键，对应的灯就会亮起来，同时，蜂鸣器会发出提示音。按下按键 3 清除亮灯情况（即复位）。



火焰报警实验

从这个实验中，我们可以学到火焰传感器的工作原理，火焰传感器的使用电路。这个实验可以模拟在有火焰时的报警情况，可以用打火机模拟火焰，当在火焰传感器附近打开打火机时，蜂鸣器发出响声报警，关掉打火机，蜂鸣器停止发出声音 。





就是公共极。测试后将电源去掉，将所有面包线拔出。接下来，就开始连接掷骰子功能的电路啦。

3 将数码管插在面包板合适位置。

4 选择一根红色的面包线作为连接共阳极的连线，以便于跟其他连线区分。将面包线的一端插在与数码管公共极引脚同列的插孔中，另一端插在+5V插孔中。接下来找出220Ω的电阻，将电阻的一端插在与a字段引脚同列的面包板插孔中，电阻的另一端插在扩展板的数字I/O孔的任意一个中即可。这里我插在了数字7的口中，剩下的引脚按照此方法插即可，此处的a、b、c、d、e、f、g分别对应数字I/O口的7、6、4、10、11、8、9，插在哪个数字I/O口大家可以自己定，只要记住就可以了，离数字I/O口远的引脚可以先接电阻，然后电阻的另一端通过面包线连接到数字I/O中。这样数码管的部分就连接好了。

5 将按键插到面包板上。要注意按键的引脚，当没有按键按下时，左侧两个引脚是导通的，右侧两个引脚也是导通的，而上侧和下侧两个引脚是没有导通的。当按键按下时，上侧两个引脚导通，下侧也同样导通。

6 在按键上侧的左边引脚同列插上一根面包线，另一端插在+5V插孔中，按键上侧右边的引脚同列也插上一根面包线，面包线的另一端插在扩展板的模拟O口。

哈哈，这样我们的硬件部分就连接好了。我们要实现让数码管快速地显示数字1~8。当按键按下时，模拟0口会读到电压值为5V，只要电压值大于2.5V就停留在当前显示的数字，松开按键，电压值为0，数字继续滚动。类似于先摇动骰子，停止时骰子上面的数字即是我们摇出的点数。我们将附带的程序通过套件中的USB连线下载到实验板后，这个功能就可以实现了。套件提供了可以执行的程序和源代码，能帮助大家学习相关的编程。有一定基础的人还可以通过改变源代码实现其他新的功能。

这套Arduino基础套装硬件资源丰富，质量良好，相关的学习资料配备完善，随机光盘中附带的入门课程的编排从初学者的角度考虑，每一节实验都配有图文结合的实验说明文档和非常有趣的程序，为使用者提供了进一步学习和扩展的空间。如果您是刚刚接触电子的初级爱好者或者学生，那赶紧行动吧，用Arduino套装来丰富您的电子知识，DIY出你的第一件作品。如果您是传统的电子爱好者，那就利用Arduino套装来了解Arduino这个开源平台吧，它会给你的电子爱好带来更多的精彩。

从这个套件开始起步，我还将利用Arduino逐步完成寻迹三轮车、遥控机械臂等制作，有兴趣的读者跟我一起来玩转Arduino吧。

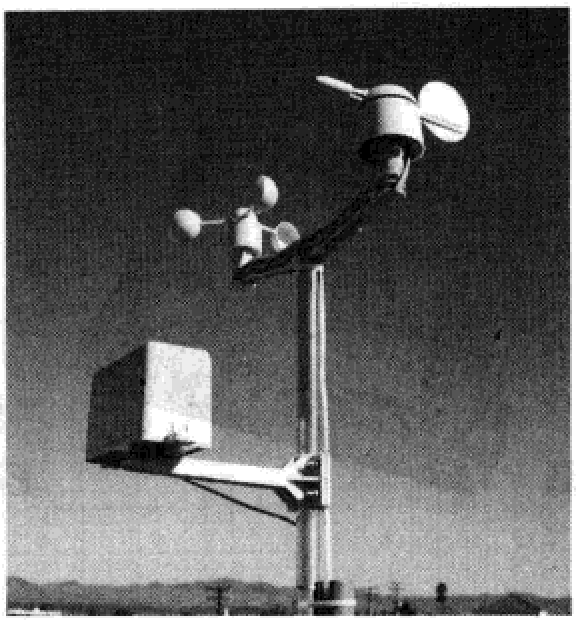
套件销售

Arduino 入门基础套件非常适合个人 DIY 及学校实验教学使用，套件价格：380 元 / 套 + 15 元快递费（请一定注明联系电话），购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

打造个人气象站



◎荣新华（BD6CR/4）

气象数据与人们的工作生活息息相关。在一般人看来，气象数据测量记录是专业气象站的事情，对于家庭而言，可能只需要看一下温度和湿度即可。对于专注于技术的爱好者，在自己的家里设置一个自动气象站，给附近和网上的爱好者提供包括温度、湿度、气压、风向、风速和降雨量等实时数据服务，或许是一个有趣的尝试。

因为工作关系，我有机会去了日本旅行。有一次在一户人家的院墙上，看到装有一个小小的随着风转动的东西。我一直以为是一种微型的风力发电设备，回到上海以后到处寻找，却没有找到。一次偶然的机会，在国外网站上看到关于“个人气象站”的资料照片，才知道那只是一个风速计，用来测量风速的，除了风速计，“个人气象站”还包括风向标、雨量计，对温度、湿度和气压等气象参数进行测量。后来，上网了解到，一个查阅世界各地气象数据的网站（http://www.wunderground.com），上面的气象数据有的是官方发布，有的就是PWS（PERSONAL WEATHER STATION，个人气象站）上传发布的。从这个网站上我发现，在上海，除了两大机场以外，还有一个国际学校有一个PWS。在国外，不少爱好者和学校都利用这个气象站套件满足不同的需求：动手乐趣、气象测量、科普实践。

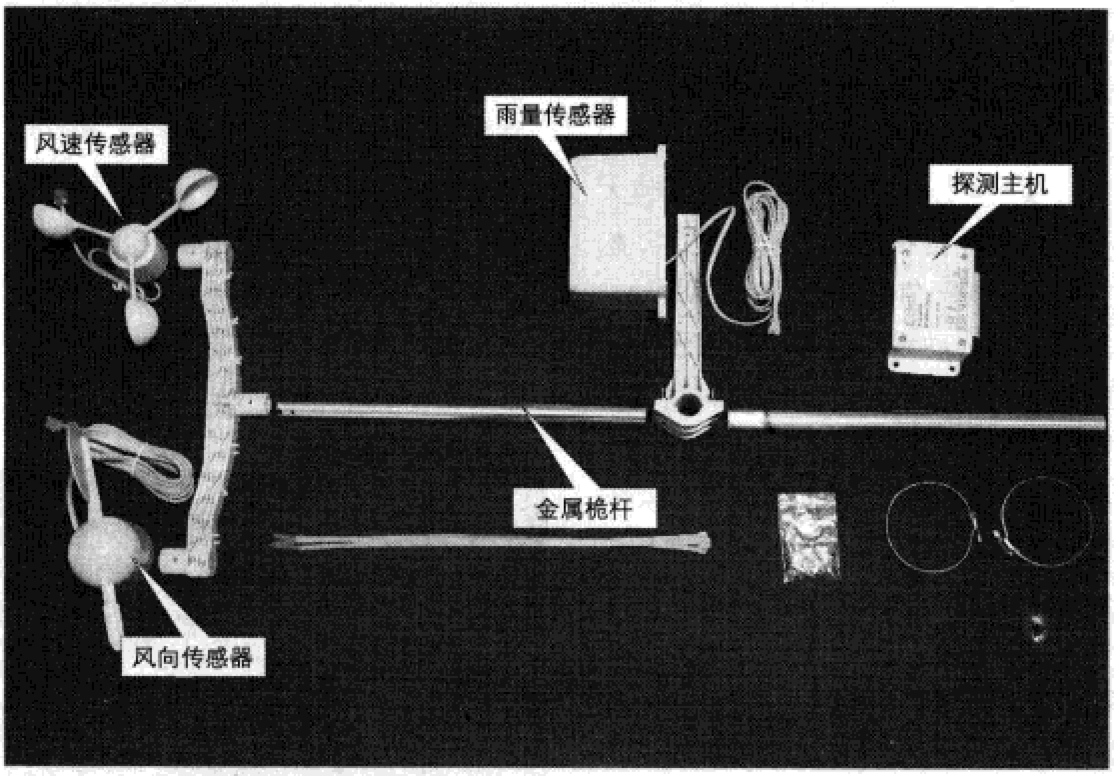


图1 气象站套件组成

这个“个人气象站”的价格不算特别贵，兴趣使然，我用信用卡买了一套回来，进行了组装和测试。

这个自动气象站套件ADS-WX1具有合理的测量精度，支持Peet Bros data logger格式（一种常见的气象站数据输出格式，波特率为2400）的串口输出，并符合APRS格式（APRS是自动分组报告系统，是目前非常热门的业余无线电操作模式）的无线数据输出，不仅可以直接连接计算机，用软件显示收集到的气象数据，还可以通过无线发射方式，使Kenwood TM-D710A等支持APRS气象站数据显示的无线设备接收并显示气象数据。

试想一下，你可以实时把你采集到的当地的气象数据放在网上与大众分享，你也可以利用业余无线电台，通过APRS，实时与火腿们及时分享气象采集的乐趣，是不是很有意思？

套件组成

整个“气象站”套件由主机、风速计、风向标、雨量计和安装桅杆、支架和一些五金附件构成的，如图1所

示。主机的电路板上包括单片机、闪存、温度、气压和湿度传感器。主机的外壳是凸缘安装的ABS外壳，风和雨的传感器通过RJ12连接器连到内部，其他连线通过14线的可插入式螺丝锁定接线柱连接。

“气象站”采用的温度/气压传感器是Bosch Sensortec BMP085，精度达0.25%，耗电量很低。湿度传感器采用的是Humirel HTF3000LF，可以校准到3%RH，响应速度快。这两个传感器均有数字输出，对噪声不敏感，且有利于简化设计。另外，该主控电路中的闪存为2MB，主要留作数据记录和语音合成的开发之用，只是当前的固件还没有很好地支持这些高级功能，不过这也为我们留出了将来进行固件升级的空间。

ADS-WS1在接线柱上有两个RS-232串口。目前，只使用了第一个串口，以固定的2400波特，使用Peet Bros data logger格式输出数据。这个串口同时也是我们配置程序时使用的端口。目前，串口输出兼容Virtual Weather Station软件，且支持所有兼容data logger格式的TNC（终端节点控制器，可以做APRS使用的专用无线MODEM）。

主机电路也支持Dallas 1-Wire总线传感器，如果需要更高的精度，我们也可以选择连接如DS18S20等温度传感器。

ADS-WS1可以非常方便地支持APRS，由于内置了TNC的功能，只需要连线到电台即可发送APRS兼容的气象站数据。我们可以通过串口将“气象站”与计算机连接起来，在计算机上运行配置程序进行参数的配置。

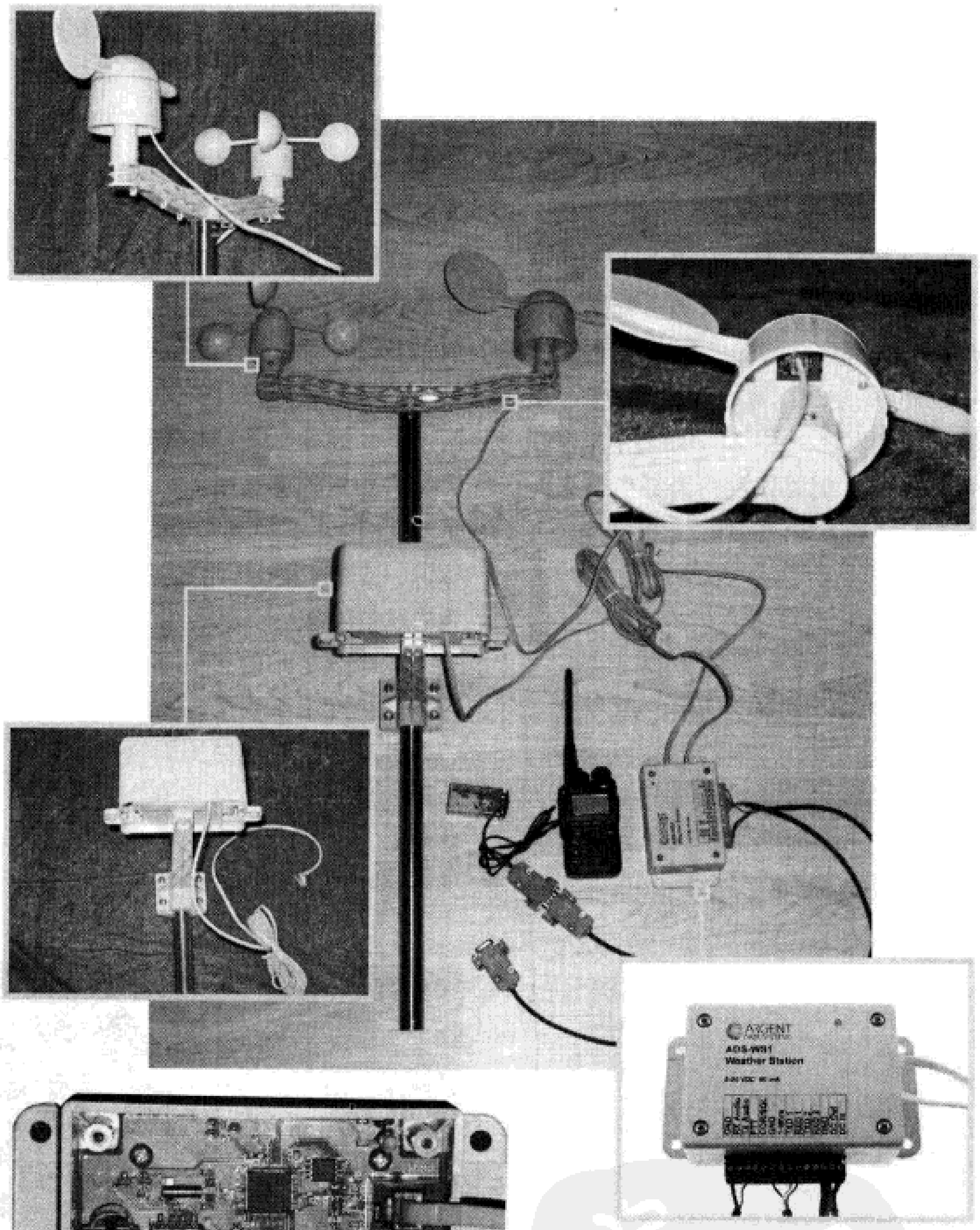
这个套件考虑到了太阳能供电的情况，内置了7A固态继电器，用来控制电台的电源，只在需要发送数据时才给电台通电，发送结束即切断电源。由于ADS-WX1本身仅消耗20mA左右，

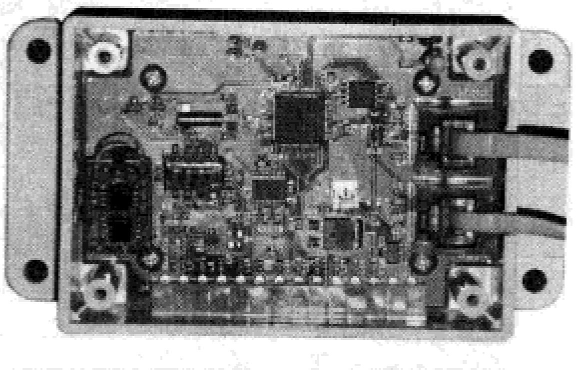
安装步骤

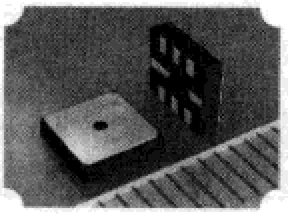
①将两节式金属桅杆套接，然后在顶部插入风速度传感器的安装支架，用螺丝固定。在桅杆的中部位置套上雨量传感器的安装支架，并锁紧螺丝夹牢。

②分别安装风速、风向和雨量传感器，均需螺丝锁定。

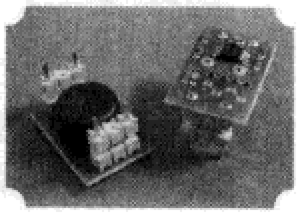
③打开主机面板，将风向标的插头连接到主机内部电路板上标有“WIND”的插座，将雨量计的插头连接到主机内部电路板上标有“RAIN”的插座，然后盖上面板，锁紧螺丝。







bosch BMP085



Humirel HTF3000LF

④根据需要在接线柱上接线。如果连接计算机串口使用，只需要在DC IN和GND连接5～20V直流电源，在TXD1、RXD1和GND连接串口线，分别连接到PC端串口的RXD（DB9的2脚）、TXD（3脚）和GND（5脚）即可。如果需要连接电台使用，则需要根据需要连接RX Audio、TX Audio、PTT、COR/SQL和GND等接线柱，而串口线可用于配置。

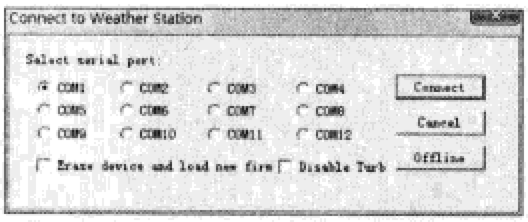
因此整个系统的平均功耗较小。

配置指南

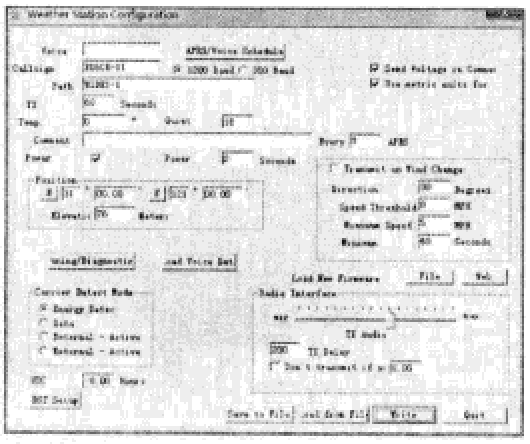
这个气象套件的配置程序运行在Windows环境下，下载地址是http://www.argentdata.com/files/WxConfig.exe。我简单介绍一下设置的方法：

1. 选择连接的串口，点击“CONNECT”，可以看到主配置界面。

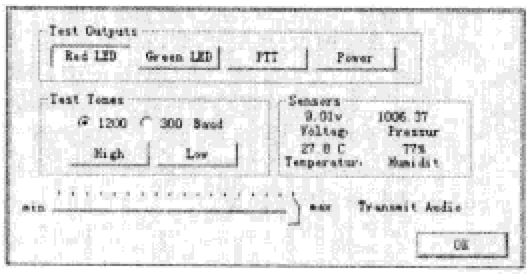
2. 至少应设置Callsign（呼号包括SSID）、Position（经纬度和海拔高度）、将“Use metric units”打勾，然后调整一下TX Audio的大小，使电台发送出去的信号不失真。配置完成后，应先点击“Write”，然后再点击“Quit”，退出配置程序。如果细心观察，你会发现，主机上的LED本来是红色闪烁的，配置过程中为红色常亮，配置完成后为绿色闪烁。



选择连接串口



主配置界面



“Tuning/Diagnostic”界面

3. 如果在第2步退出程序前点击“Tuning/Diagnostic”，可以直接读取传感器的数值，并可对电台接口是否工作进行诊断和调整。

架设方法

为了获得更加准确的测量结果，架设位置应开阔，并有一定的高度。如果安装的位置较低，则风速容易偏低。不建议装在阳台或者靠近墙壁的位置，因为风向会受到影响。最好的安装位置是院子的院墙上、公园的草地、楼房房顶的平台等位置，当然，如果安装到房顶，要考虑避雷和防大风的措施。桅杆一定要严格垂直安装，这是因为雨量计实际上就是一个雨水的“翘翘板”，如果倾斜安装，会影响雨量的测量精度。风向标上标有东南西北，分别用字母E、S、W、N标识，应将N指向正北方，以便获得正确的风向读数。

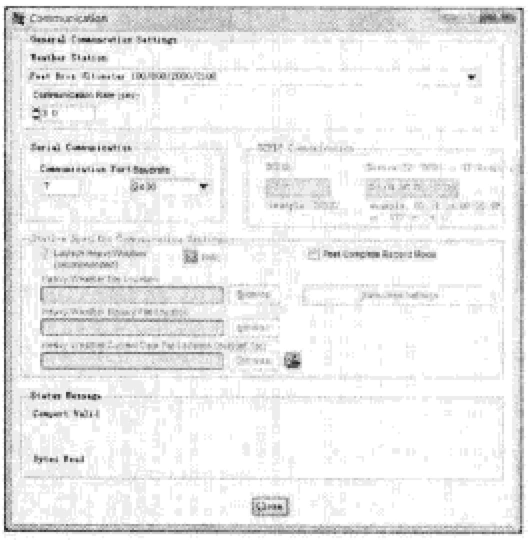
这个气象站的主机不防水，所以应该安装在淋不到雨的地方，最好应装入百叶箱，以避免太阳直接辐射和地面的反射辐射，影响温度传感器的精度。

如果采用太阳能电源系统供电，连接“气象站”的电台的电源应受主机控制，连接在DC Out和GND之间。一般配备10W的太阳能电池板和控制器，配套12V/7Ah左右的蓄电池就可以满足要求。

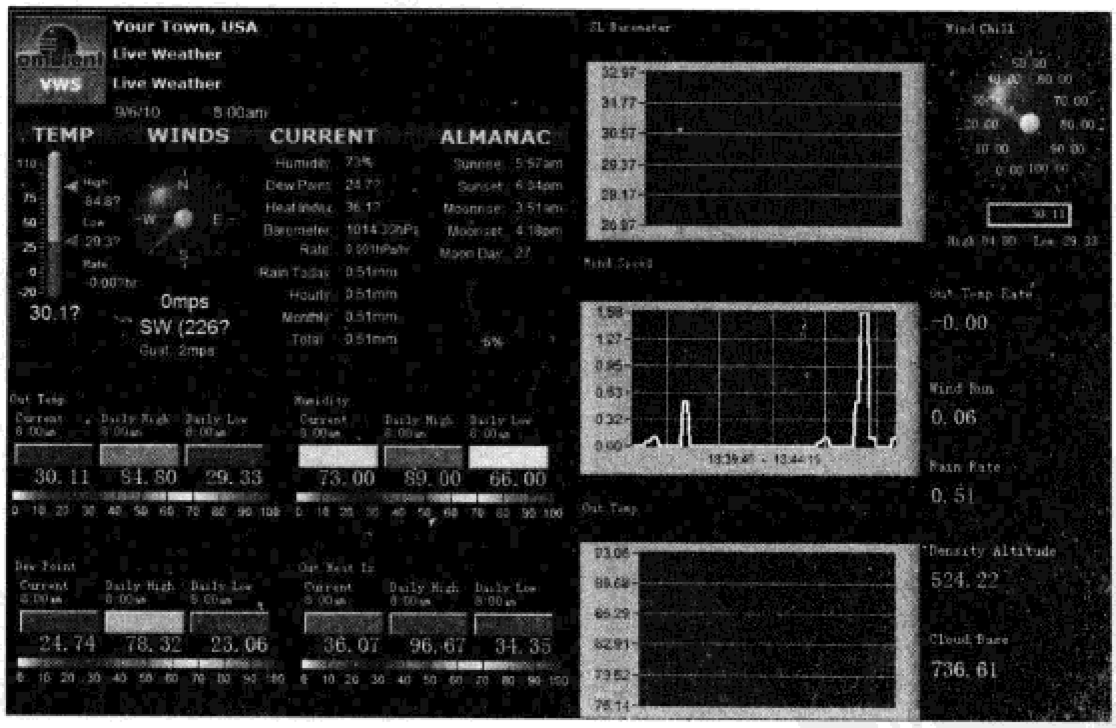
应用方案

1. 有线应用

将气象站配置好以后，用串口线连接到PC，如果PC没有串口，也可以使用USB转串口线。下载ambient weather公司的Virtual Weather Station软件的30天试用版，地址是http://site.ambientweatherstore.com/vws/vws_



与计算机连接的配置



Virtual Weather Station软件主界面

install.exe。 设置气象站种类为“Peet Bros Ultimeter 100/800/2000/2100”，并选择合适的串口号和波特率（2400）。在“Conversion”对话框中选择公制单位即可。

Virtual Weather Station是个功能强大的软件，不仅可以图形的方式查看气象站的数据，在升级到Internet版本后，还可以将数据发送到网上，比如上文提到的wunderground等，也可以直接支持APRS。

2. 无线应用

无线应用的配置已经在上文简单提到。关键的事项是需要将气象站连接到电台的手咪插口或者DATA数据通信接口，以YAESU的FT-7900R车台的DATA口为例。ADS-WX1上的TX Audio线上输出的是类似“猫叫”的音频，PTT是控制电台发射用的，而接收到的音频RX Audio和/或静噪COR/SQL是让ADS-WX1感知信道上是否忙，避免冲突。ADS-WX1与FT-7900R的DATA口相连后，发送的信号即为符合APRS格式的气象站数据，可以由TM-D710A、VX-8系列等支持APRS的电台直接接收、解调并显示。如果没有这种电台，也可以用普通电台接收，用音频线将音频输出连到PC声卡的MIC输入端，运行AGWPE软件来模拟TNC，然后在AGWTRACKER等支持APRS气象站的软件中显示。当然，也可以通过网关软件将气象站的数据直接发送到APRS服务器上。关于APRS系统的更多内容，读者可参考我的电子书《APRS实验笔记》，下载地址是http://www.qsl.net/bd6cr/aprsnotes.pdf。

3. 网上应用

如果访问http://aprs.fi，可以获得世界各地爱好者上传的APRS格式的气象站数据，比如，http://aprs.fi/BA5BJ-11。

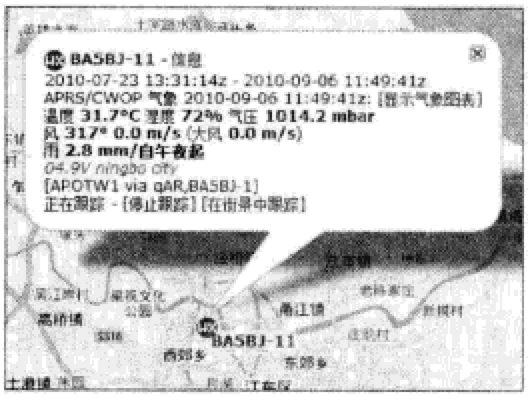
如果点“显示气象图表”，可以看到相应的气象历史图界面。

这些数据是被发送到APRS服务器后，再由aprs.fi服务器进行记录和显示的。关于ADS-WS1气象站的更详细的使用和应用资料，可参考维基网站http://wiki.argentdata.com/index.php/ADS-WS1。

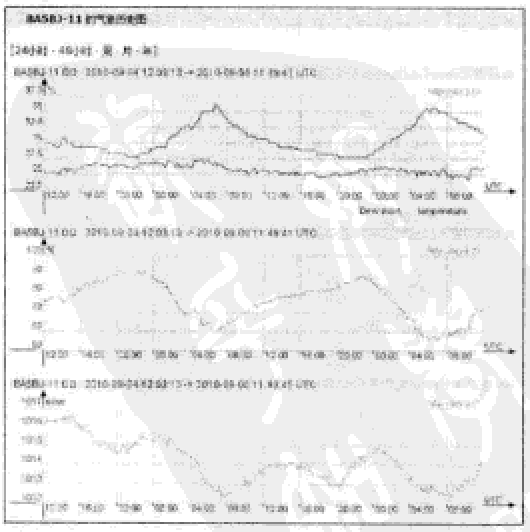
注：本刊现有少量从国外订购的 ADS-WX1 个人气象站套件，因数量有限，仅在本刊淘宝店销售，购买信息及相关说明见 boqu.taobao.com。

YAESU FT-7900R车台DATA口接线方式

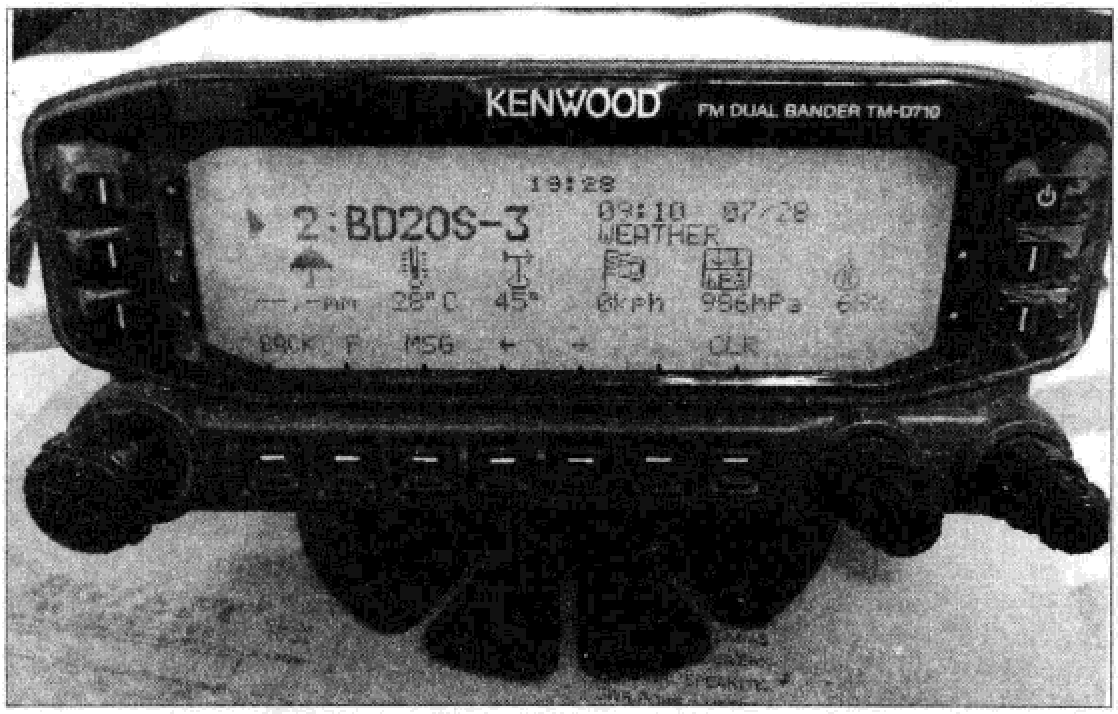
AGWTRACKER等支持APRS气象站的软件



http://aprs.fi网上的气象站数据显示



爱好者上传到网站上的气象数据

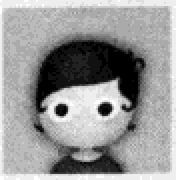


KENWOOD TM-D710A可以直接接收、解调PWS发送的气象信息并显示

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　→回复　✧新帖

DIY太阳能单管机（摘自矿石收音机论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



整理：草音

加入日期：2010-09-18

帖子：666

Bd4rg：现在的城市里要想拉个像样的天线已经很困难了，没有像样的天线就很难做好矿石收音机。能够最接近矿石收音机同时又不用架室外天线的，太阳能收音机应该最合适。再说和几十年前相比，现代技术已经有了很大的进步，我们也应该与时俱进，将新技术应用到现在的制作中，如太阳能电池、法拉电容等。我觉得太阳能板加法拉电容是个很好的方案。 电容不存在过充电和过放电，不必像充电电池，要考虑维护问题，它可以像矿石机一样，想听就听，不想听摔到一边不用管。

图1、图2是这个单管机的电路，其天线用了个正方形小环型天线，它的边长只有20cm，用它的原因是它的形状很像当年架在房子上的蛛网天线，可以借此怀念过去的矿石收音机。再者，我发现即使这个环形天线的尺寸很小，但效果也比磁棒天线效率高。

这个单管机用的是场效应管，它的最大好处是其工作电流随电压的变化很小。对于用太阳能的收音机来说，这点很重要，因为随着光线的不同，太阳能电池板的电压是不稳定的。我试验的结果是，这个场效应管的单管机电压为0.8V~5V，它的电流大概为0.2~0.3mA（现在用的太阳能电池板的最大电压一般不会超过5V）。虽然电流只有0.2~0.3mA，但音量已经很好了，可以说，比一般的矿石机响多了，还可以不用天、地线。

太阳能电池板的尺寸为6cm×6cm，对太阳能电池来说，这么小的电流只要有点光线就可以了，完全不必阳光直射，如图3所示。

我用了一个1F/5.5V的法拉电容储能，利用白天室内的光线就可以收听并对电容充电，晚上用电容储存的能量可以收听大约 3个小时，基本够用了。这个单管收音机在窗口和阳台可以收到八九个台，在房间的中间也可以收到四五个台。

呀美喋：用7642 效果更好。

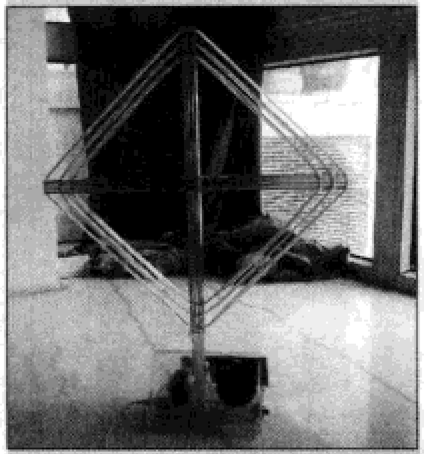
无人驾驶：本来对中波AM不感兴趣的，看了您的帖子，心里有些痒。请介绍一下那个蛛网天线的制作方法和数据，用的什么线缠的？想仿一个，挺漂亮的。

Bd4rg：7642没用过，看数据，比较适合用电压稳定的充电电池供电。太阳能电池和大电容的特点是电压不稳定，如我现在做的电压从0~5V变化，用场效应管在0.6V左右就可以工作，0.8V以上音量变化就很小了。由基极电流决定工作电流的普通晶体管很难做到这一点。

要是想听广播，现在价廉物美的收音机遍地都是，做这种过时的玩意只是对几十年前做矿石机的一种留恋罢了。天线的制作很简单：用装集成电路的塑料管做骨架，大约30cm和40cm长度的各一根（长的一根多出来的10cm留作支撑）。线圈用Φ0.5mm的耐高温线绕制，共计21圈，在7圈、14圈处抽头，线圈分三组，间隔约1cm，这样可以减少分布电容，也比较好看。绕好的线圈最外圈边长大约为20cm。

无人驾驶：多谢楼主指教。

在我们的日常生活中随处可见太阳能的利用，把太阳能用到我们传统的收听爱好中，不失为一个好的创意！



正方形小环型天线

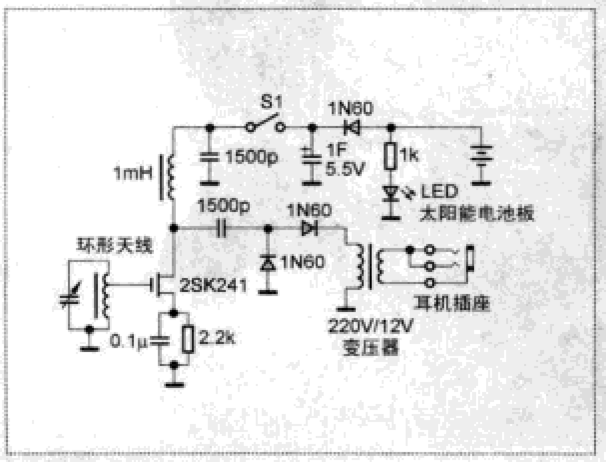


图1 太阳能单管机电路原理图

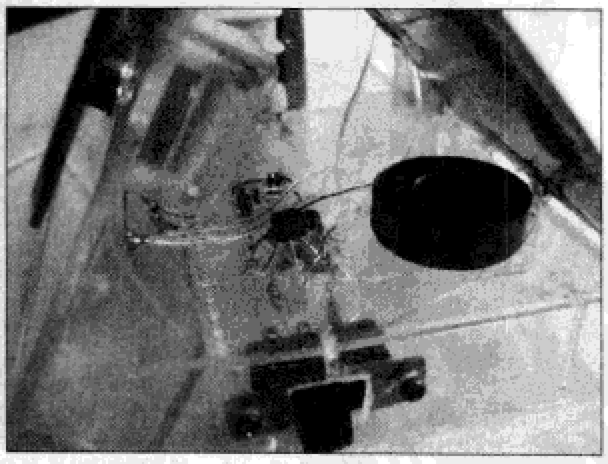


图2 电路实物

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　⇨回复　✧新帖

DIY太阳能单管机（摘自矿石收音机论坛）　收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

OldRadio：低碳、零排放。

STANDARD：楼主的思路甚好，但不知此机夜间能用否？怀疑电容容量！

Bd4rg：现在1F的电容夜间大约可以用3个小时。普通电容1000μF可以算比较大的了，1F=1 000 000μF，就是说等于1000个1000μF的电容。如果你用1000μF的电容能够让单管机工作3~4s，那么1F的电容就可以让它工作大约1个小时了。1F的电容我买了两个，如果两个都用上，应该使用五六个小时没有问题。在法拉电容里，1F的算是小的了，几十法拉的电容也很常见。技术的进步很惊人，不要轻易怀疑。

Szp：用法拉电容的好处是不用维护，没有过充和过放的问题。但缺点就是电压不稳定。我也从网上买了10个1F的电容，想做一个能放扬声器的，当作有线广播来听。

Bd4rg：说的对，是有电压不稳定的问题，太阳能板也有这个问题，但场效应管的电流很稳定，随电压变化很小，所以可以工作得很好。普通晶体管的单管机电路我也试过，要对偏流采取稳流措施，也可以工作，但稳流电路要额外消耗一部分电流。

Talent：好极了，有想法！DIY要顶，有想法的DIY更要顶！

Wangronggen：再做一个用磁棒的，就更实用了，羡慕。

Bd4rg：是的，磁棒更实用些。但做这些东西其实并不是要实用，只是觉得好玩而已。真要用的话，随便买个收音机就行，现在不是几十年前了，不差这点钱。

无人驾驶：楼主试过用这个蜘蛛网线圈配合TA7642吗？我用磁棒线圈试过，7642的灵敏度比2SK241GR的灵敏度要高，而且还要省电。这个蜘蛛网天线也学着做了一个，没有您那样的线，就用了Φ0.1mm×30股的纱包线，间隔0.5cm，绕了12环，每环2圈，共24圈，电感量偏小，才200多微亨，看来要重新返工了。

Bd4rg：我没有TA7642，所以没试过，但TA7642是收音机专用IC，效果自然应该好。我用的是2SK241Y，比GR挡的电流要小些。您绕天线的线比我的好，我找不到多股线只好用这种线代替。如果你的可变电容是365P的，电感已经差不多了，加个一到两圈应该就可以了，没必要重做。

无人驾驶：又重新缠了，37圈，电感量300μH，手里只有140/60pF的可变电容，并联当200pF用，频率覆盖不行，还要再找合适的可变电容。您做得真漂亮，佩服，羡慕！我做完了像个大苍蝇拍，好丑!

Bd4rg：200pF是小了点，电感要400多微亨才够。谢谢夸奖。

无人驾驶：请教楼主，您做的这个蛛网线圈的方向性很强吗？我做的这个有极强的方向性。本地电台，旋转几度的角度就声音全无了，比磁棒线圈的方向性还要强很多。

Bd4rg：方向性很明显，但感觉和磁棒的方向性差不多。

Duzhongxing：2SK241用其他什么型号的管子可代用？

Bd4rg：手上只有241，其他管子没试过，参数相近的管子应该都可以用。

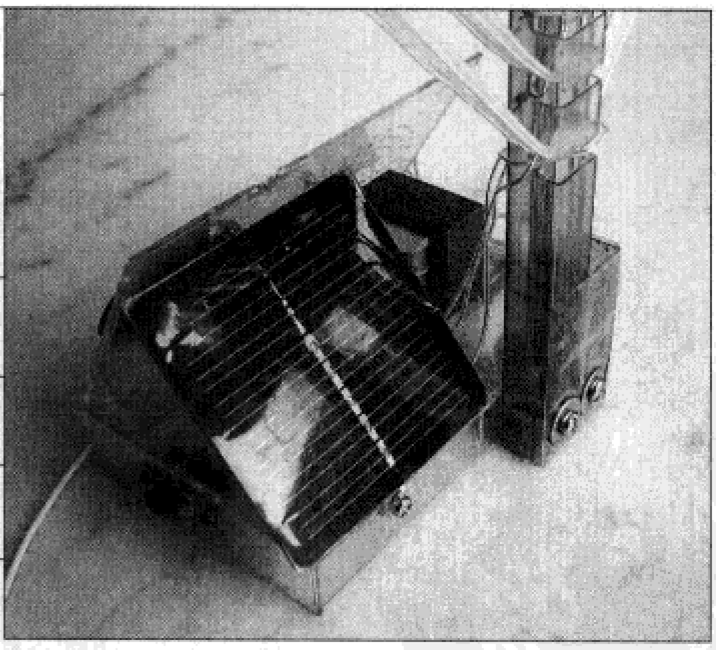
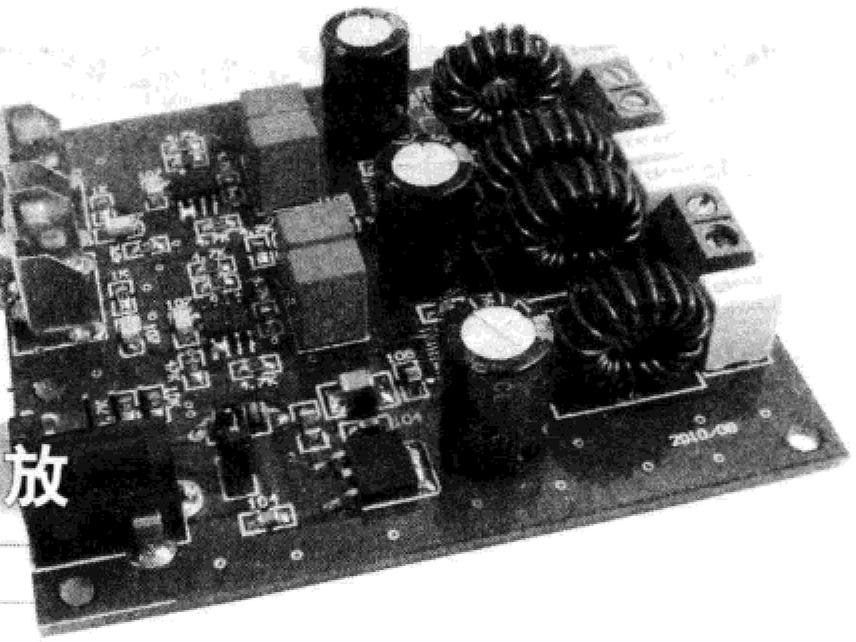


图3 使用的太阳能电池

新器件试用台



用TPA3123

制作一款纤小而强劲的D类功放

◎任杰

距离笔者上一款功放的完成已有大半年的时间了，在这期间，采用TA2024的那款功放性能一直十分稳定，唯一的不足就是输出功率偏小，特别在搬到室外使用时，要推动一对60W的无源音箱就显得力不从心。而且笔者一直没能给它找到合适的外壳，裸板工作着，让人很没有安全感。于是，我开始琢磨制作一款功率更大的D类功放，并且为它配一个漂亮的外壳。

想来想去，没能找到什么合适的方案，笔者之前所知的D类功放大多为平板电视机设计，功率在一二十瓦，制作我需要的功放，输出功率不会有大的提升，当然也有类似TAS5630这种号称输出功率能达到600W的，但无论是元器件还是电源的价格，都远远超过了笔者的支付能力。正在犹豫不决之时，偶然看到了《无线电》2010年第3期的套件制作文章——MINI USB AMP，套件中将双通道D类功放TPA3121用于桥推形式，大大提高了输出功率。没等细读完文章，笔者就迫不及待地开始设计电路了，笔者手头正好有几片TPA3123和TPA3124，朋友送的TI样片。

电路简介

TPA3123/4是TI公司推出的双通道D类音频功率放大器，其中，TPA3123电源范围比TPA3124略宽，每声道输出功率比TPA3124大，而外围电路完全一样。用于双通道放大时，TPA3123每声道最大输出25W（TPA3124为15W），需要加大容量的隔直电容。而用作BTL形式输出时，理论上输出功率能达到双通道输出的4倍。如果忽略MOS管压降，当电源电压19V（笔记本电脑电源）时，可以估算得在6Ω负载上获得的功率能够达到30W，24V的电源电压下将近50W，显然，这个输出功率是让人满意的。

图1给出的是TPA3123用作桥推输出的原理图，外围电路十分简洁。图中将17、18引脚上拉到高电平，每通道电压增益为36dB，约63V/V，则BTL形式输出时电压增益约为126V/V。需要注意的是，TPA3123的输入阻抗随增益设定的改变有很大变化，所以耦合电容容量需要根据实际情况进行选取。按图中设定的增益，输入阻抗约9kΩ，选取1μF的耦

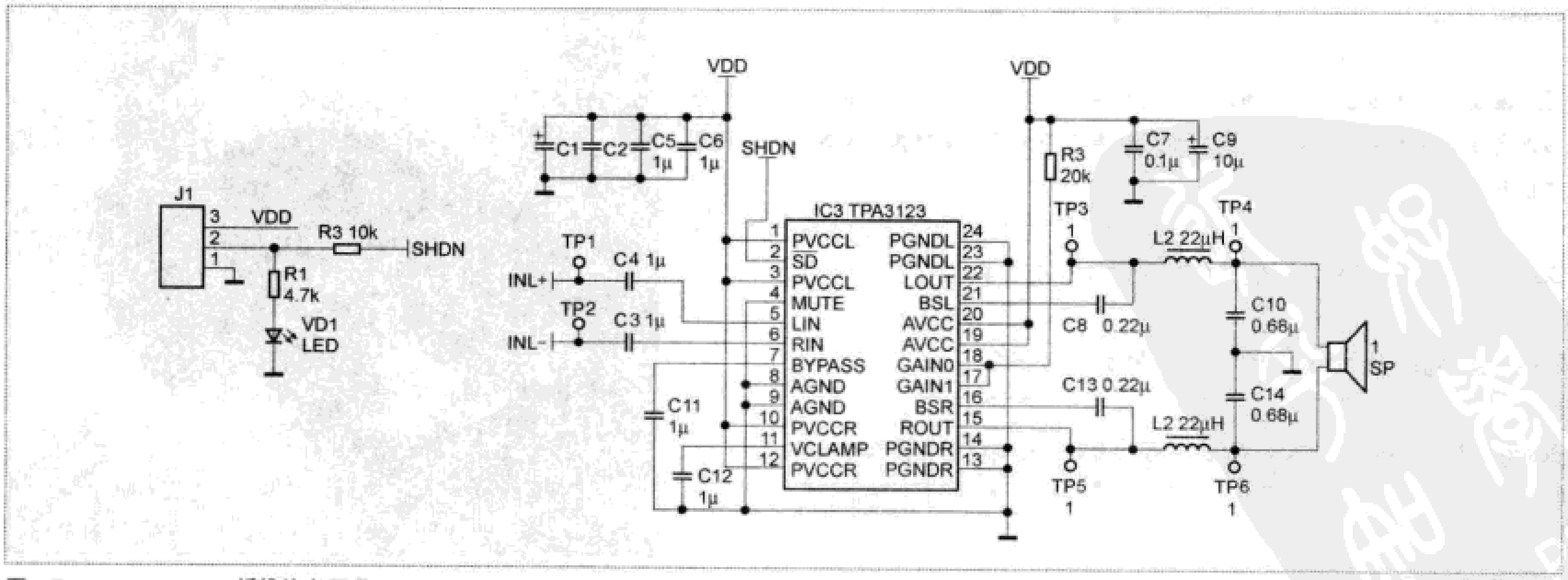


图1 TPA3123/TPA3124桥推输出原理图

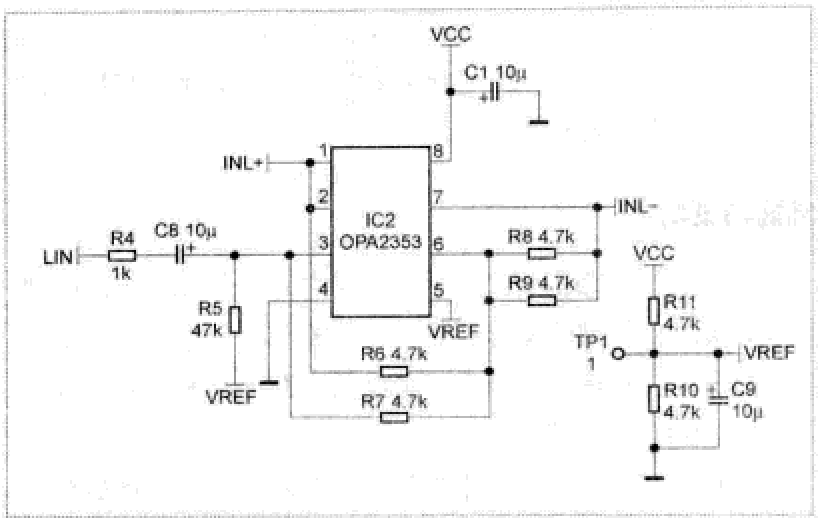


图2 运放组成的单端转差分电路

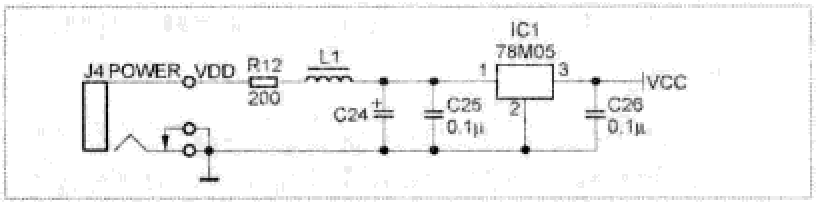


图3 电源电路

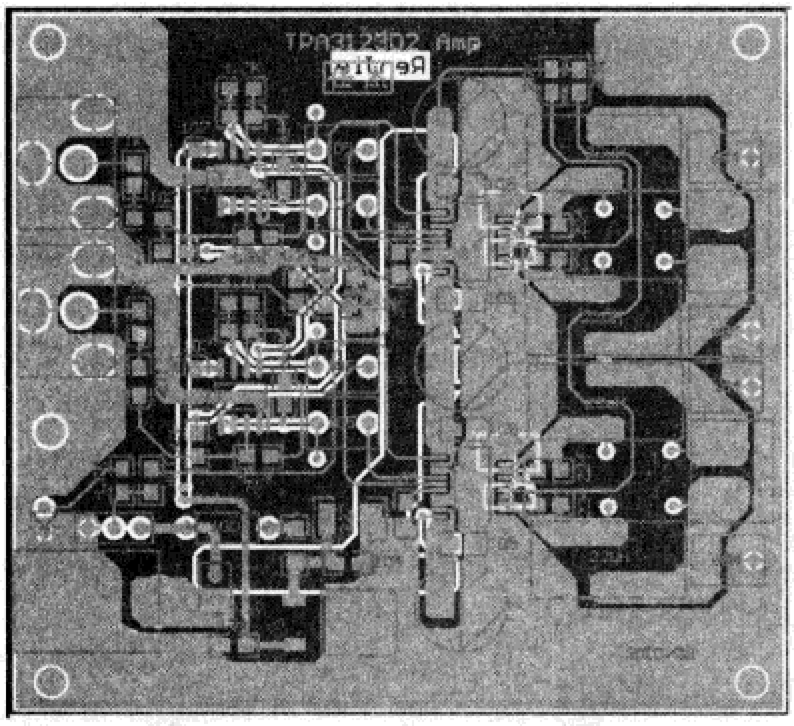


图4 PCB布线图

合电容，可得下限频率约18Hz。

图中的J1为开关，通过控制TPA3123的SHDN引脚实现开关机操作。再看看输出级LC滤波电路，单从电容、电感的参数就能看出，TI公司的D类功放低通滤波上限频率比TA202X系列的要低，这可能是造就TI公司D类功放高效率的重要原因。从数据手册上可以查知，TPA3123在输出功率较大时，效率高于90%。

说了这么多，差点忘了电路的一个重要组成部分，那就是输入端的单端转差分电路。由于BTL形式的放大器的两个输入端输入的是互为反相的信号，而一般的音频信号为单端共地信号，因此需要一个电路实现单端转差分功能。最简单的实现方法是使用一个双运放，其中一个作为同相比例运放，一个作为反相比例运放，并使其放大倍数分别为1和-1即可。但是这种方法使用的电阻阻值不一致，很难保证输出信号的良好对称。笔者借用了《无线电》2010年第3期那篇文章中介绍的方法，一个运放用作跟随，另一个用作反相放大，电路如图2所示。由于使用的电阻阻值一致，比较容易做到输出信号的良好对称性。

最后需要提一下电源电路。笔者个人认为，给工作在小信号处理状态的运放加上线性稳压电路是很有必要的，所以这里选用高性能的低压、单电源运放OPA2353，并使用7805稳压为其供电。电源电路如图3所示，由于TPA3123的工作电压高（可以高达30V），串接一个电阻降压很有必要。

元器件选择

每一次的制作中，元器件的选择这一项是至关重要的，因为合适的元器件不仅是电路安全稳定工作的前提，在音频电路中，更会直接影响听感。

在以往的制作中，出于价格的考虑，笔者往往本着实用的原则选用器件，而这回摒弃了这一原则，也小小地“发烧了”一把。

首先是级间耦合电容，首次使用了好评如潮的红色WIMA，而输入耦合电容、+5V电源退耦电容全部使用贴片钽电解电容。值得一提的是，单端转差分电路中用到运放，来自TI的高性能低电压满幅运放OPA2353，2.7~5.5V的单电源电压，低至0.0006%的*THD+N*以及高达22V/μs的压摆率，在单电源运放中绝对是首屈一指的。最后说句实话，尽管在这些器件上“发烧”了一把，但究竟性能有多大提升，或者说带来的提升是否感觉得到，笔者是不得而知的。

接下来是滤波电感，成品的电感在这种大电流情况下不太可能符合要求了，所以只好自己绕制。笔者选用了铁硅铝材料的磁环，商家介绍这种磁环频率高、不易饱和。买回去不同尺寸的磁环，最后通过边绕边测的方式，确定了如下的制作方法：铁硅铝磁环外径13mm、内径7mm，铜线直径0.8mm，匝数为18匝，实测电感为21μH左右。

最后需要注意的是滤波和退耦电容的选取。因为电源电压较高，一定要注意电容的耐压。笔者打算使用笔记本电脑电源（19V），主滤波电容选用470μF/25V的铝电解电容。当然，如果PCB空间允许，容量可以选得更大一些。另外要注意AVCC端的退耦电容C9，如果使用贴片的钽电解电容，耐压很难做到很高，因此，在这里用1210封装的10μF瓷片电容代替。电路中其他元器件的选用可以参看实物图。

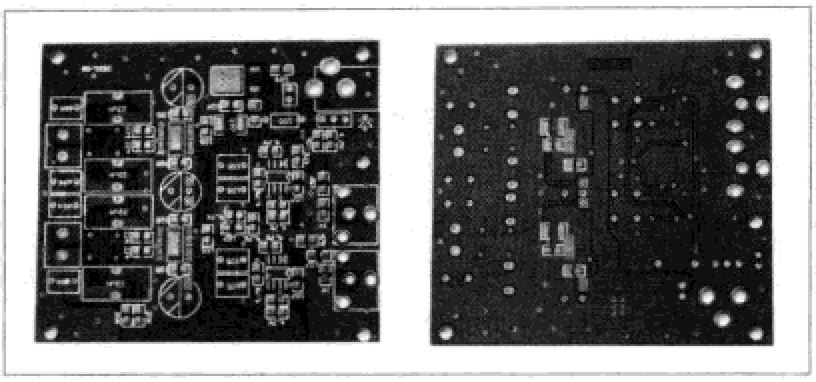


图5 PCB实物图

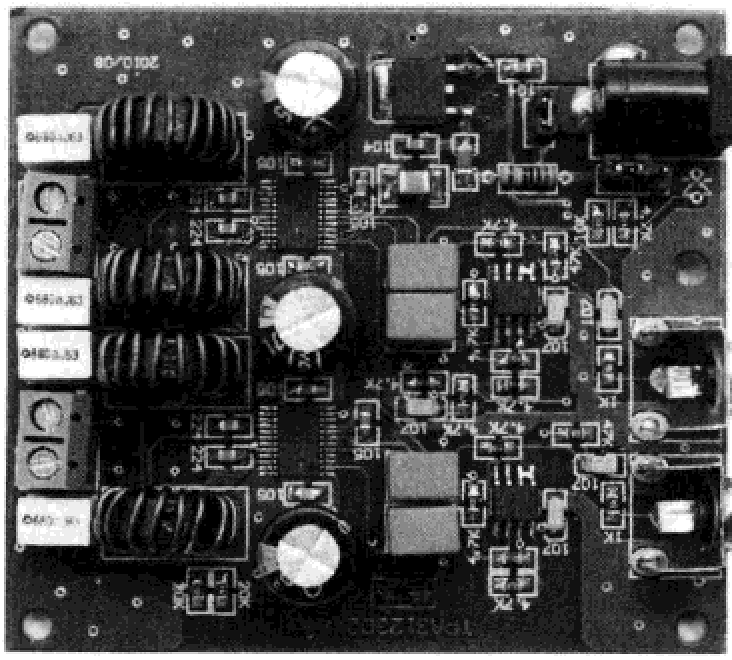


图6 焊接好的PCB实物

PCB的设计

这一环节无疑是音频类电路制作中最具技术含量的。低速数字系统的PCB设计大概只要连通了就能正常工作，而音频功率放大器的PCB上，也许仅仅由于一条走线的变化就可能引入噪声。笔者看过许多经验丰富的发烧友谈论PCB的设计问题，觉得涉及的很多方面的知识是没法用理论很清晰地表达出来的，唯有多次的实践，才能逐步掌握其中的技巧。图4给出的是笔者设计的PCB图，每一条连线都是通过反复考虑才确定下来的，完成这块PCB的布局布线，花了我整整一天的功夫。

这个电路的PCB将信号线尽可能地放到顶层，用来保证底层地平面的完整，而顶层没有采用大面积敷铜接地的方式，而是将大小信号地分开，分别接到电源地。为了TPA3123的散热良好，需要在顶层和底层尽可能地留出大面积铜箔，并在芯片底下放置导热通孔。考虑到温度升高对运放电路的影响，在底层的两级电路之间用电源线将地平面隔开，用作热隔离。另外需要注意的是，运放级的输入信号是很微弱的，由R10、R11分压产生的V_{ref}是运放的参考地，所以应采用单点连接的方式将信号线接到V_{ref}端。

图5给出了加工好的PCB实物图片，由于外壳的尺寸限制，省去了音量电位器。

焊接与试听

原则上，电路是要先焊接好一个声道，测试了没问题才继续焊接的，但是笔者忍不住内心的激动，一次性焊完了所有的元器件（相信大多数爱好者经常也有这种冲动），焊接完成的PCB如图6所示。

焊接完成后，检查一下电源有无短路、电解电容极性是否装反，确认无误后就可以通电了。通上电源后，看看是否有芯片过热等现象，如果没有，再用万用表测一下输出端的直流电压是否为零，如果是，就可以接上扬声器。图7给出了测试的现场实拍。

接上扬声器后，没有任何反应，笔者以为是开关没有打开，于是用短路帽将SHDN引脚拉至高电平，结果还是没有反应。正当笔者继续检查是否存在故障时，不小心碰到了输入端，扬声器里立即传出了刺耳的噪声。笔者欣喜若狂，将耳朵贴到扬声器上，确实完全听不到噪声，就像没有工作一样。由此看来，PCB上下的功夫没有白费，这款功放在底噪的抑制上做得相当不错了。

接着，将MP3音量调小，输入MP3音乐信号，扬声器里传出干净、清晰的声音，逐渐调大输出音量，音量等级大概在25（总音量分32级）的时候，声音已开始变得混浊，音箱明显快扛不住了。而此时的输出功率，足以用于家庭影院（笔者在6楼的阳台上试听，能引来1楼方圆20m内邻居的关注）。

值得注意的是，由于功放部分的电压增益超过120V/V，加上单端转差分电路2V/V的增益，整机增益高达240V/V，所以输入音频信号电平值一定要足够低，否则很可能瞬间输出过大而损坏扬声器。

图7 测试现场实拍

接下来，将音源改为电脑的内置声卡输出，将音频线插入电脑耳机插孔，扬声器里传出明显的噪声，只有当音量调大时方能将噪声掩盖。换上笔者以前用PCM2912制作的声卡，则完全听不到噪声。这一区别在平时使用普通耳机时听不出来，使用普通的小功率有源音箱也听不出来，而换成高增益的大功率功放，则将噪声放大到很明显的水平了。

长时间的试听后笔者发现，在大功率工作时，TPA3123的发热还是比较大的，测试当天气温在33℃左右，中间由于芯片过热保护，出现了一次自动停机现象。为了功放的长期稳定工作，笔者在芯片底下的PCB上焊接了一块铜片充当散热器，如图8所示。

组装

加工好的外壳如图9所示。外壳为铝合金材料，尺寸为100mm×70mm×25mm，背板上装输出接线端子，面板上只有输入端子、开关、电源接口以及工作指示灯。PCB的尺寸是严格按照外壳尺寸设计（70mm×76mm），宽度上正好

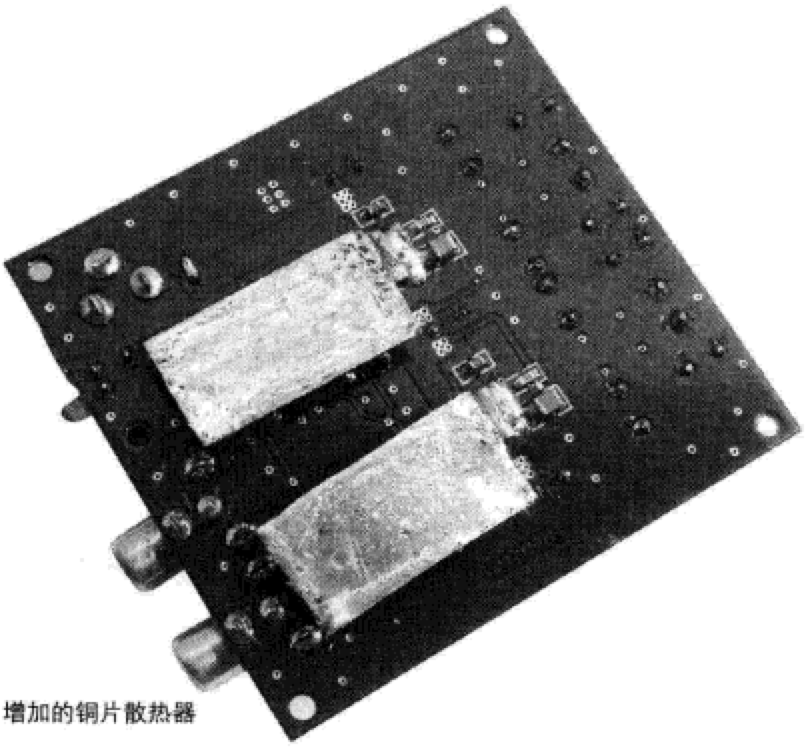


图8 增加的铜片散热器

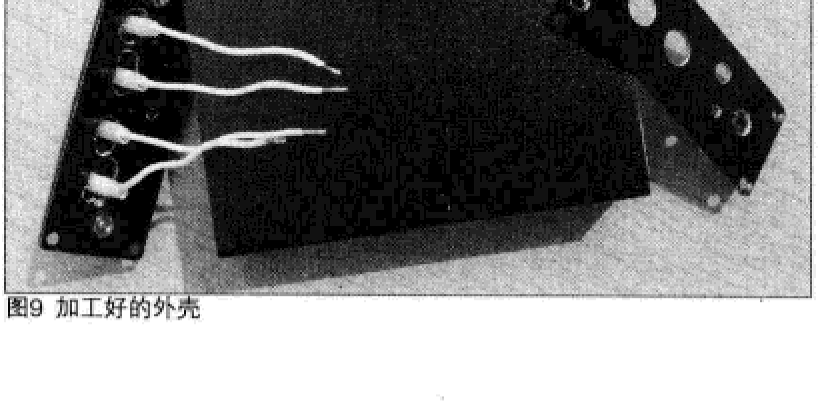


图9 加工好的外壳

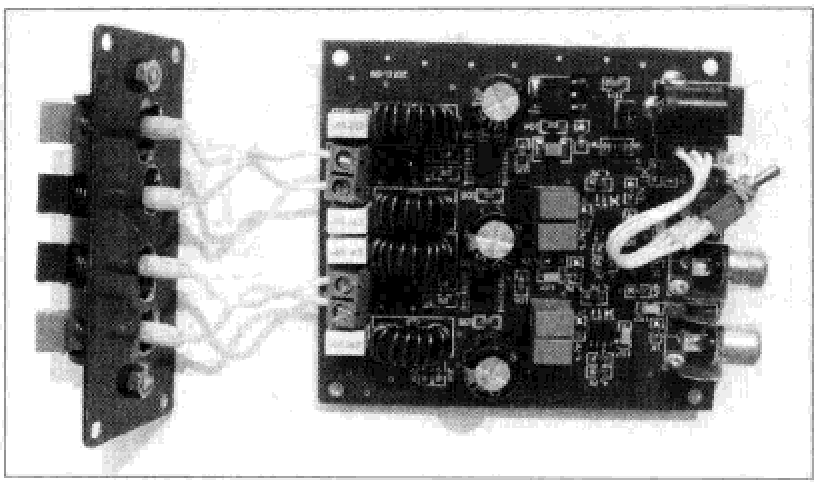


图10 准备装入外壳的PCB

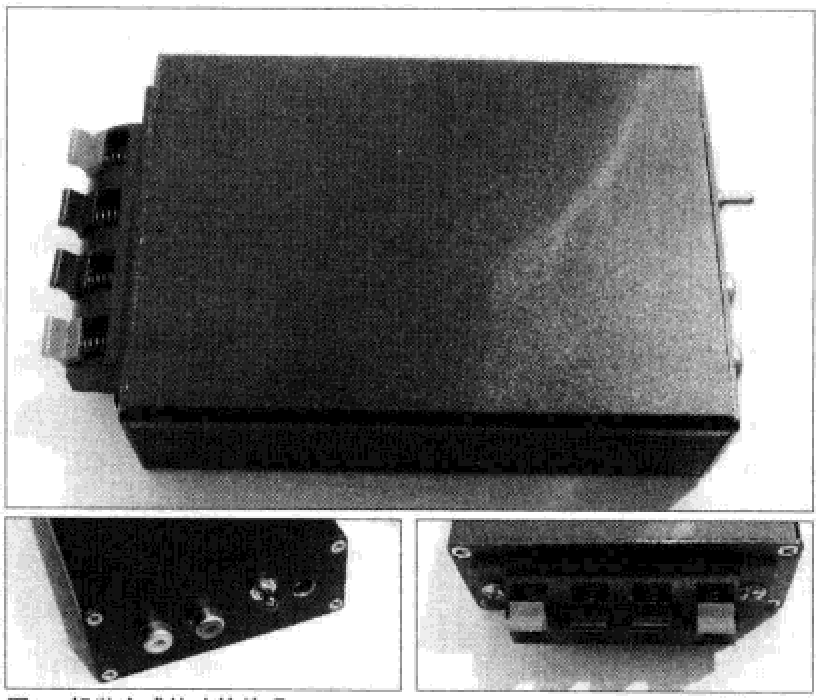


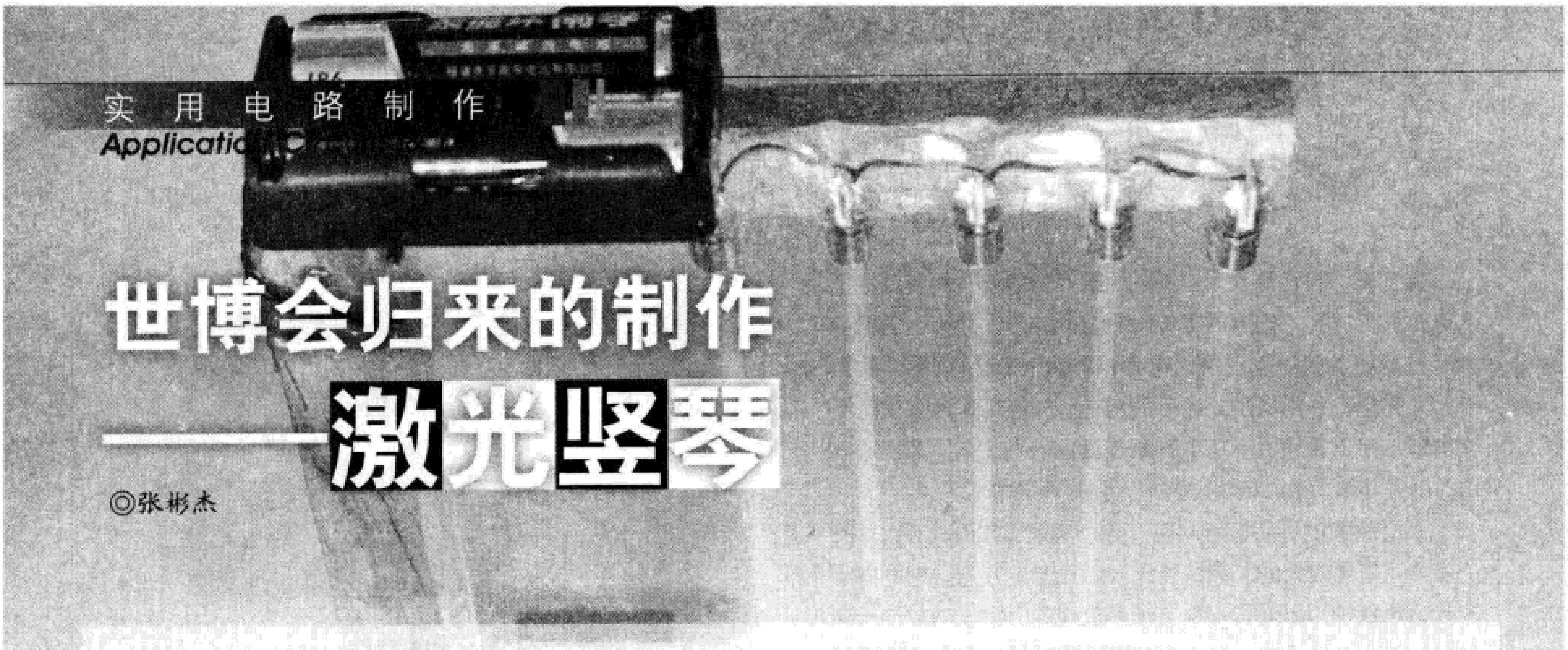
图11 组装完成的功放外观

插入外壳内部的槽中，长度上空出的一截裁剪一块洞洞板来填充。

图10中红色的小开关是笔者费了不少时间才找到的，产自中国台湾，质量非常不错。最后就是将PCB插入外壳，这一步需要注意的是，尽量使铜片散热器保持平整，并调整其高度，使其能够紧贴在外壳上，以利于散热。由于散热器和输入端子的外壳都是接地的，在这里不需要考虑绝缘的问题。图11为组装完成的功放，如此纤小的体积，很难想象它能迸发出惊人的强劲功率，同等输出功率的AB类功放，大概仅散热器就有五六个这么大吧。

结语

写下这篇文章的心情是异常兴奋的，迫不及待地想与读者分享成功的喜悦。做了不少的音频功放，这次称得上是像模像样的，尽管没有作类似上一次的波形测试，但是它令人满意的听感、极低底噪以及强劲的输出功率，让笔者感受了极大的制作乐趣。



世博会归来的制作——激光竖琴

◎张彬杰

几个星期前，我和表弟一起去了一趟上海世博会。在伊朗馆，看到了一架没有琴弦的竖琴，那是众多参观者公认的伊朗馆里最有趣的展品！参观者只要伸手穿过那架通体黑色的竖琴，音调就会被“奏响”。没有琴弦怎么奏响？ 工作人员为我们揭示了秘密——他按了一下琴身上的“光”按键，14道红色的激光束就从琴的上端射出。他说，这是激光竖琴。我们用手指一“拨”激光束，竖琴就会发声，每一束光都有不同的音高。据说这架竖琴原本放在伊朗的科学馆里，主要是为了激起小朋友对音乐和科技的兴趣。

这个激光竖琴也让我回想起了许多陈年旧事，很久前我就曾经和同学说过，我也能做一个激光竖琴，还和他打了赌，只是由于时间的问题一直没有完成。看了伊朗馆的激光竖琴，我决定制作它，当然是一款很简陋的激光竖琴。不过对于喜好DIY的朋友而言，也是一个不错的创意小制作。

整体结构

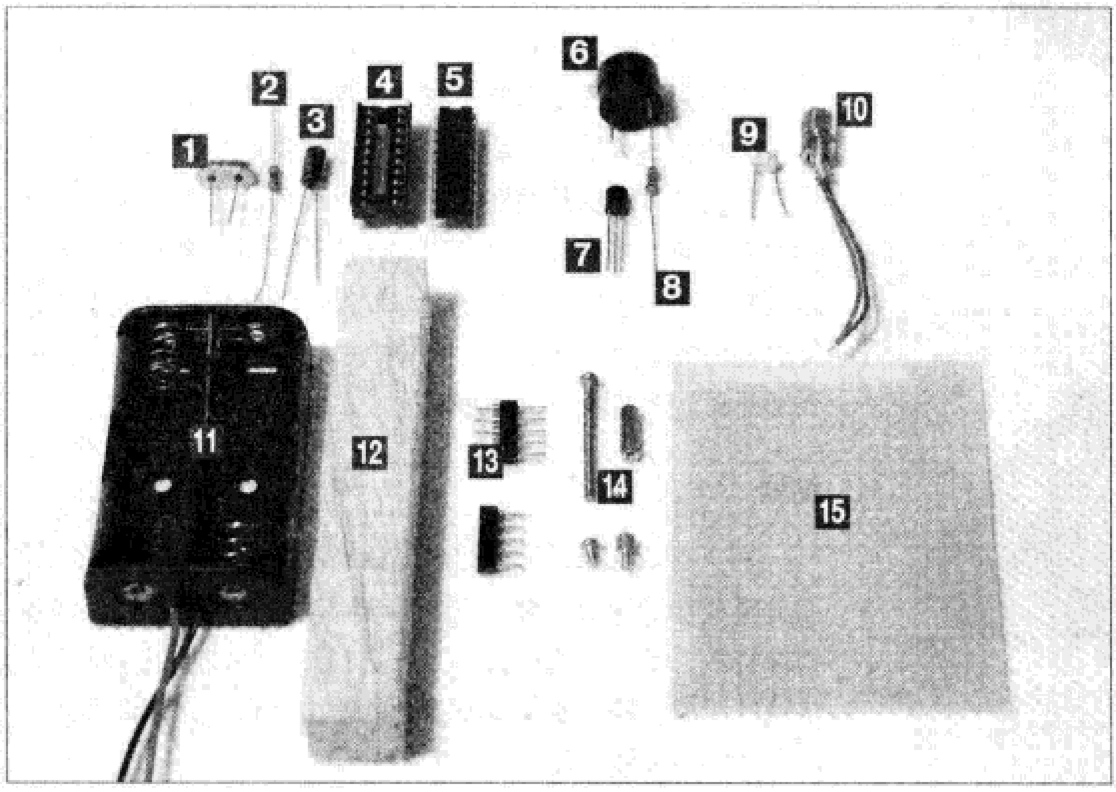
这个激光竖琴，用3个木块构成，并用螺丝和热熔胶固定成接近竖琴的形状。

在上面的木块上安装5个3.0V激光管，并用热熔胶固定在下面的木块上。用0.8mm的钻头钻洞，并安装对应的5个光敏电阻，即组成基本的基座。然后，在合适的地方放置5号电池盒，也用热熔胶固定。最后，根据电源原理图，把对应的引线和插座连接，以方便后期的连接和升级。最后，再与电路板底座连接。底座的电路我先后做了两种，分别采用的是AT89C2051和ATMEGA8这两款单片机。当然，性能和效果也是不同的。由于材料有限，我只做了5根弦的作品。

这次制作焊接非常简单，都是DIP的元器件，根据原理图使用绝缘套线，连接对应引脚即可。

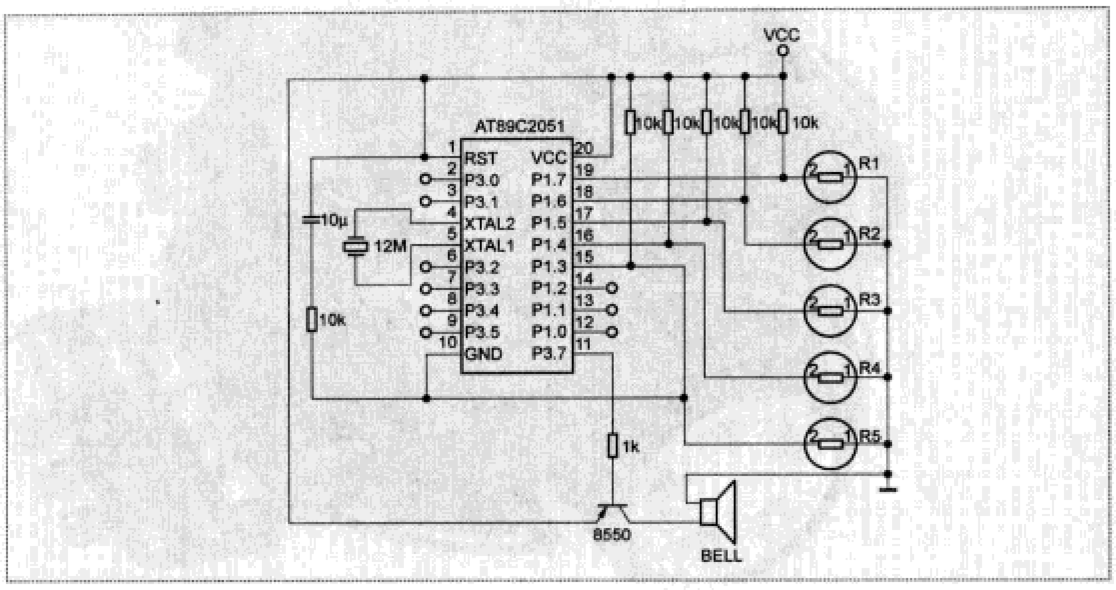
好了，你也可以享受神奇的无弦琴的乐趣了！

制作需要的材料（见附表）

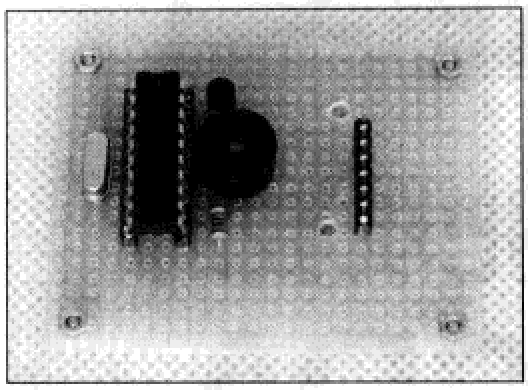


附表 使用AT89C2051方案的元件清单

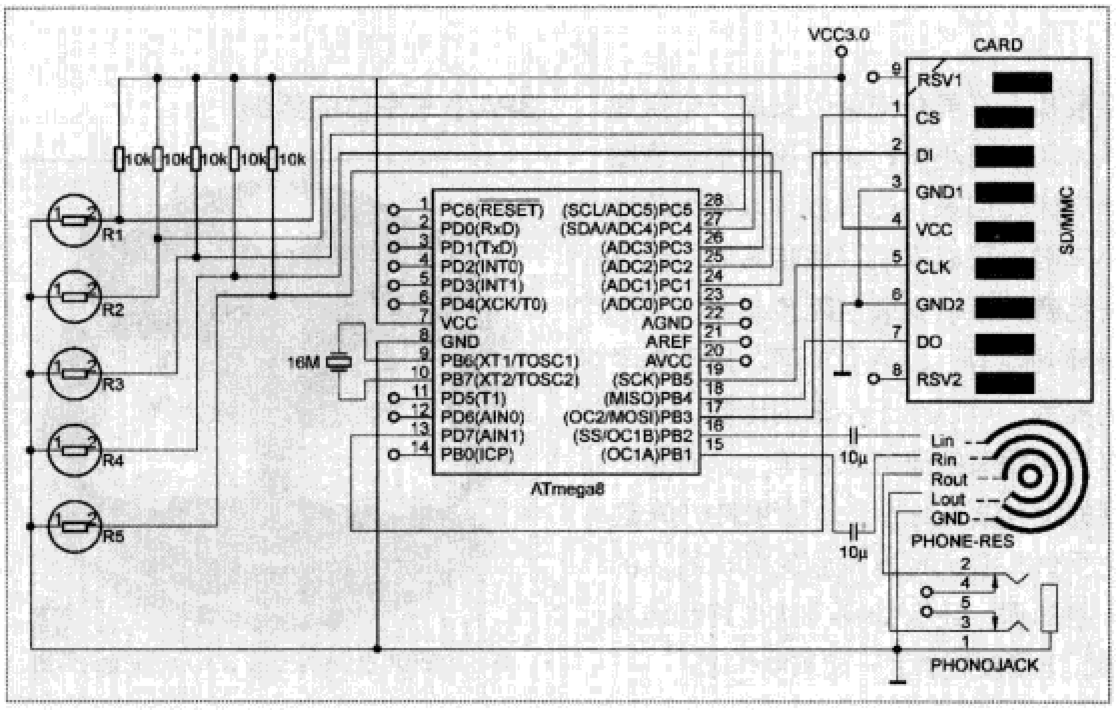
编号	零件名称	数量
1	12MHz晶振	1
2	10kΩ电阻	6
3	10μF电容	1
4	20针插座	1
5	AT89C2051	1
6	无源蜂鸣器	1
7	8550PNP三极管	1
8	1kΩ电阻	1
9	光敏电阻	5
10	3V激光管	5
11	电池盒	1
12	木块	3
13	插针、插座	若干
14	铜座、螺丝	若干
15	洞洞板	1



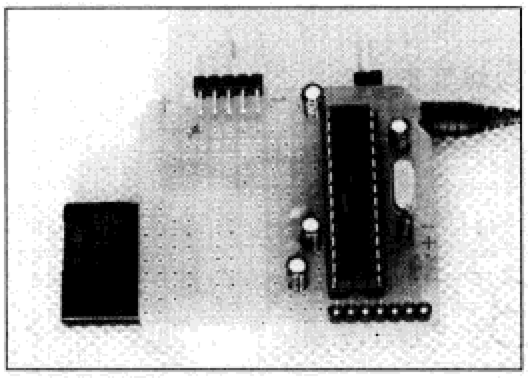
采用51单片机的电路原理图



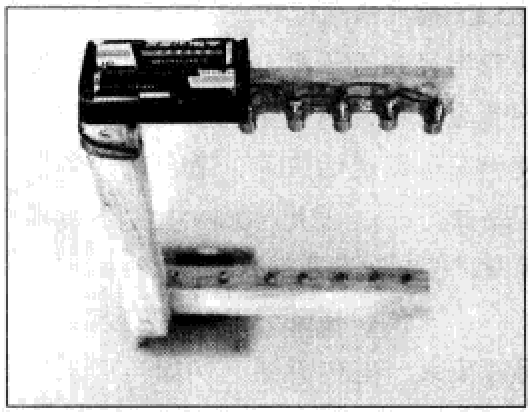
51单片机底板



采用AVR M8单片机的电路原理图



AVR单片机底板



激光竖琴的结构

电路原理

光敏电阻在室内光线下的阻值约20kΩ。当受到激光管照射时，它的电阻将小于1kΩ。于是，笔者用10kΩ的电阻和光敏电阻串联，进行分压。当有激光照射时，单片机读取光敏电阻的电压（3/11，约0.27V），此时它的逻辑电平为0。当无激光照射时，单片机读取光敏电阻的电压，约（3/30）×20=2V，这时它的逻辑电平为1。

这样，当我们遮挡激光的光线时，就能在电路中产生开关的效果。音符是如何产生的呢？人耳能听到的声音频率为20Hz~20kHz，竖琴音符频率当然也在这个范围。只是，不同的音符，有着自己固定的频率。通过51单片机自带的16位定时器就可以产生上述音频。例如竖琴的标准音la为440Hz。通过计算可知，它的半周期为1136μs。这样，只要在半周期时跳变引脚电平，就可以产生440Hz的方波了。再经过电声转换元件（蜂鸣器），就可以产生标准音la了，其他音符也是这样产生的。

采用51单片机的电路使用了AT89C2051单片机，在P3.7引脚上连接发声元件，即无源蜂鸣器。通过三极管放大电流，使音乐更响亮。其余部分是51单片机的最小系统。电路的电源用2节5号电池。大家可能会认为，这个音符没有音色啊。因此，我又对这个51单片机做的发声底座进行了改变，用M8单片机重新设计了发声的底座。使用新设计的M8单片机电路，我们可以将音色文件放到SD卡中，大家根据自己的喜好，放入喜欢的音符，如钢琴、二胡、吉他等。不过，音符需要自己用电脑事先录制，并保存为8位的WAV文件，文件名为D、R、M、F、S、L、X。程序会判断哪根激光被阻挡，播放相应的音符文件。声音通过M8单片机的OC1A、OC1B产生。只要把音频输出的OCR1A、OCR1B和音响或耳机连接，就能听到响亮的音符了。

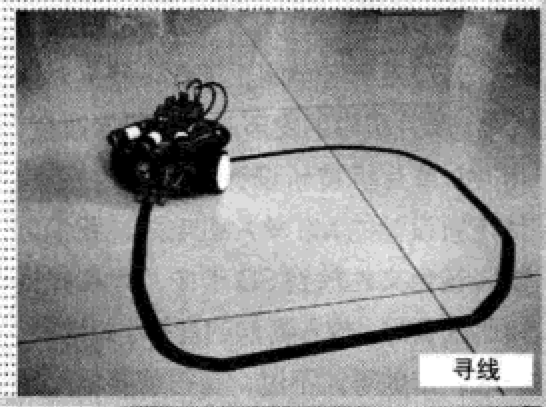
玩转Arduino

把玩我的3PA小车

◎刘英杰

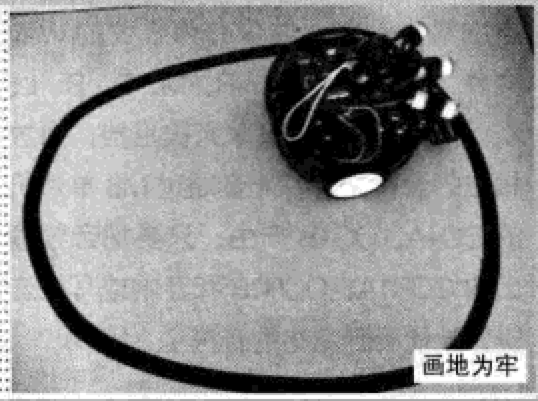
3 Powered Arduino平台是一款非常方便扩展的机器人平台，不但可以用51控制器、STC控制器、AVR控制器控制外，更适合使用世界上广泛推广的Arduino控制器来控制。2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮使小车运动灵活快速，适合室内的平坦路面行进。 使用Arduino控制器编程简单，控制起来非常有趣。

小车的机械部分有很多安装孔，可以安装一些传感器。例如，可以安装舵机，在舵机支架上安装一个摄像头，可以将小车行走时周围的环境图像实时传回来，这样就可以作为监控小车啦，可以安装寻线传感器，做寻线比赛，可以安装避障传感器，实现避障功能等。3PA小车可以用于教学的实践，可以用于小车的比赛，还可以用于相关的研究项目等，只有想不到的没有做不到的哦。利用3PA小车这个平台，我们可以学到轮式机器人的一些知识，还有如何搭建电路和传感器。下面就跟着我一起来制作吧！

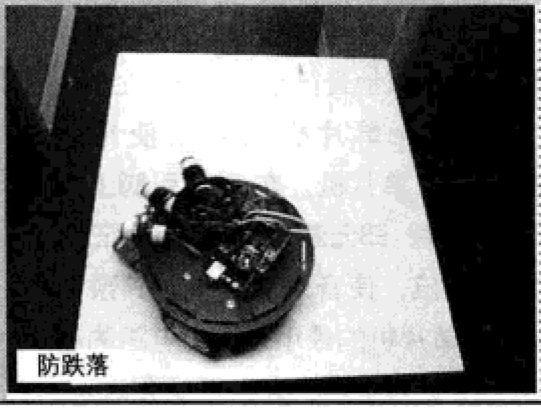


寻线

避障

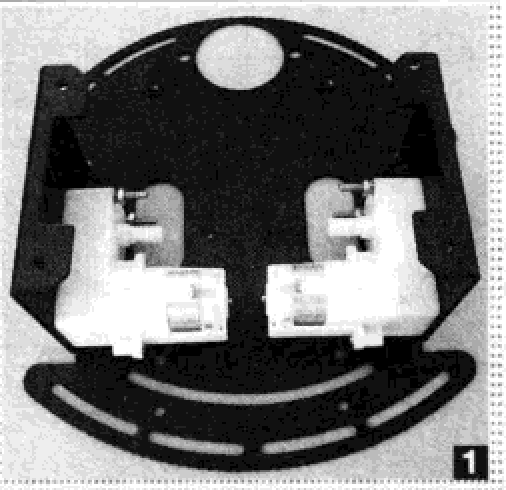


画地为牢

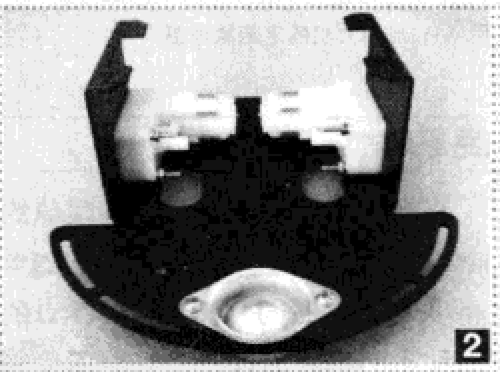


防跌落

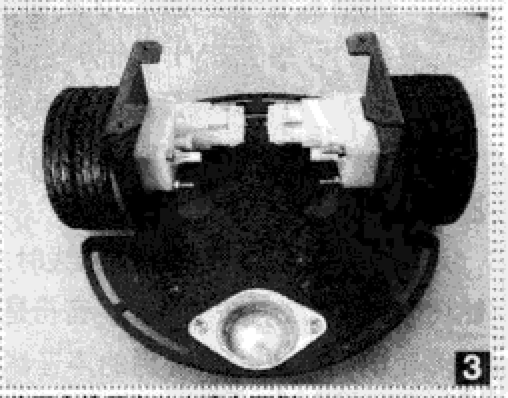
3PA小车车体的组装



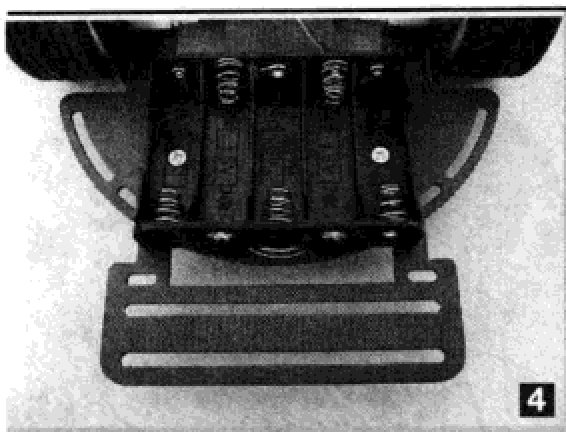
将两个直流电机分别安装在3PA小车底盘的两侧。

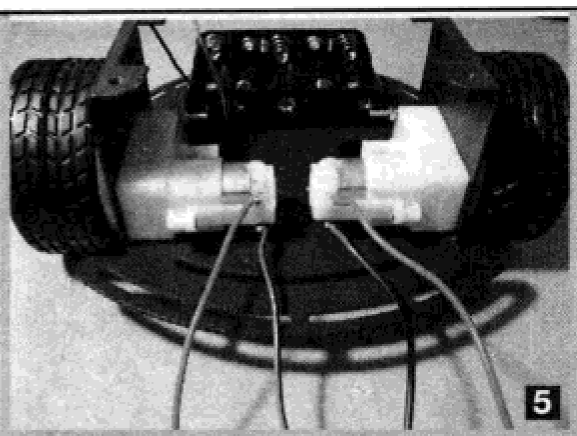


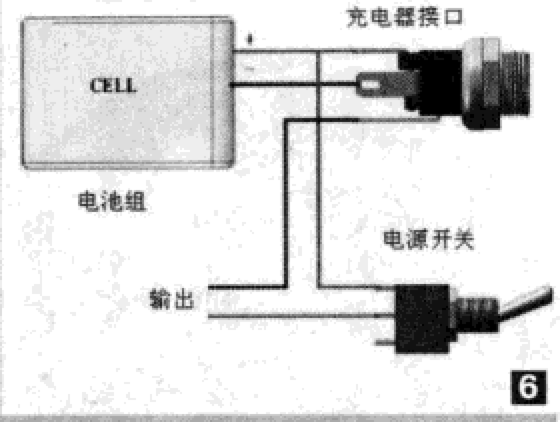
将万向轮安装在对应的位置。

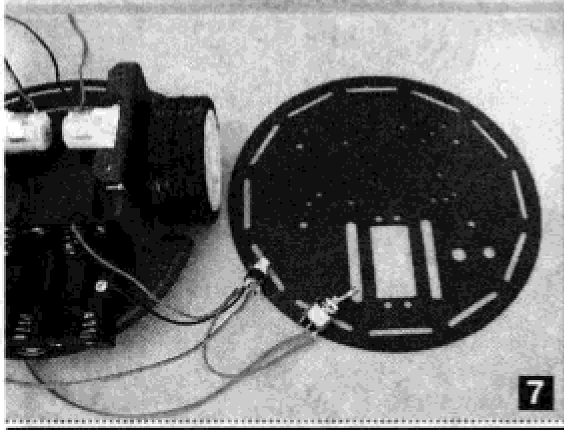


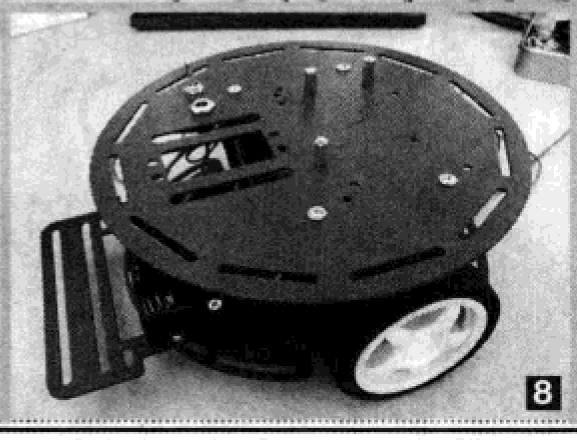
将两个轮子安装在底盘两侧。

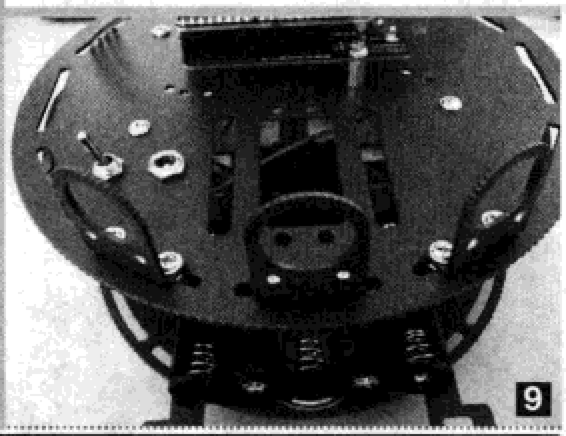












4. 安装传感器支架及安装电池盒。
5. 接下来要焊接 4 根线，每个直流电机上的正负极线（上面是正极，下面是负极），导线要留出一定的长度，以便和控制板连接。
6. 焊接开关、充电孔、电池盒之间的连线示意。
7. 将开关和充电孔安装在顶板上。
8. 在顶板上安装 3 个铜柱，用于后面安装控制板。
9. 安装红外接近开关支架。

控制电路的安装

❶ 安装DFRduino Duemilanove 328控制板。

DFRduino Duemilanove 328控制板是一块基与开放原始代码的简易输入/输出平台电路，作为3PA的大脑，控制板负责读取传感器数据，通过程序作出正确的判断，然后控制电机驱动板驱动电机，使小车作出相应的动作。

❷ 将L293 Motor Shield电机驱动板插在控制板上。L293电机控制板是Arduino专用的电机电路，叠层设计，可与其他模块配合使用，占用数字端口PIN4、PIN5、PIN6、PIN7。驱动部分的电源电压为7～12V，驱动部分的工作电流I。小于等于1A，采用双路大功率H桥的驱动形式。

❸ 将直流电机的 4 根线插在驱动板上，左轮的正、负极插在 M1+、M1-，右轮的正、负极插在 M2+、M2-。

❹ 安装Xbee传感器扩展板V5。

Arduino是一款开源的控制板，非常适合爱好电子制作的朋友制作互动作品，但对于一些不熟悉电子技术的人，制作互动作品必不可少的各种传感器要添加到Arduino控制板上，却是一个比较麻烦的事。好在，这个套件准备了传感器扩展板，能使大部分传感器轻松地和Arduino控制板连接。

Xbee传感器扩展板V5是一块具有Xbee无线接口的电路板，可以扩展14个数字 I/O口（12个舵机接口）、6个模拟IO口。

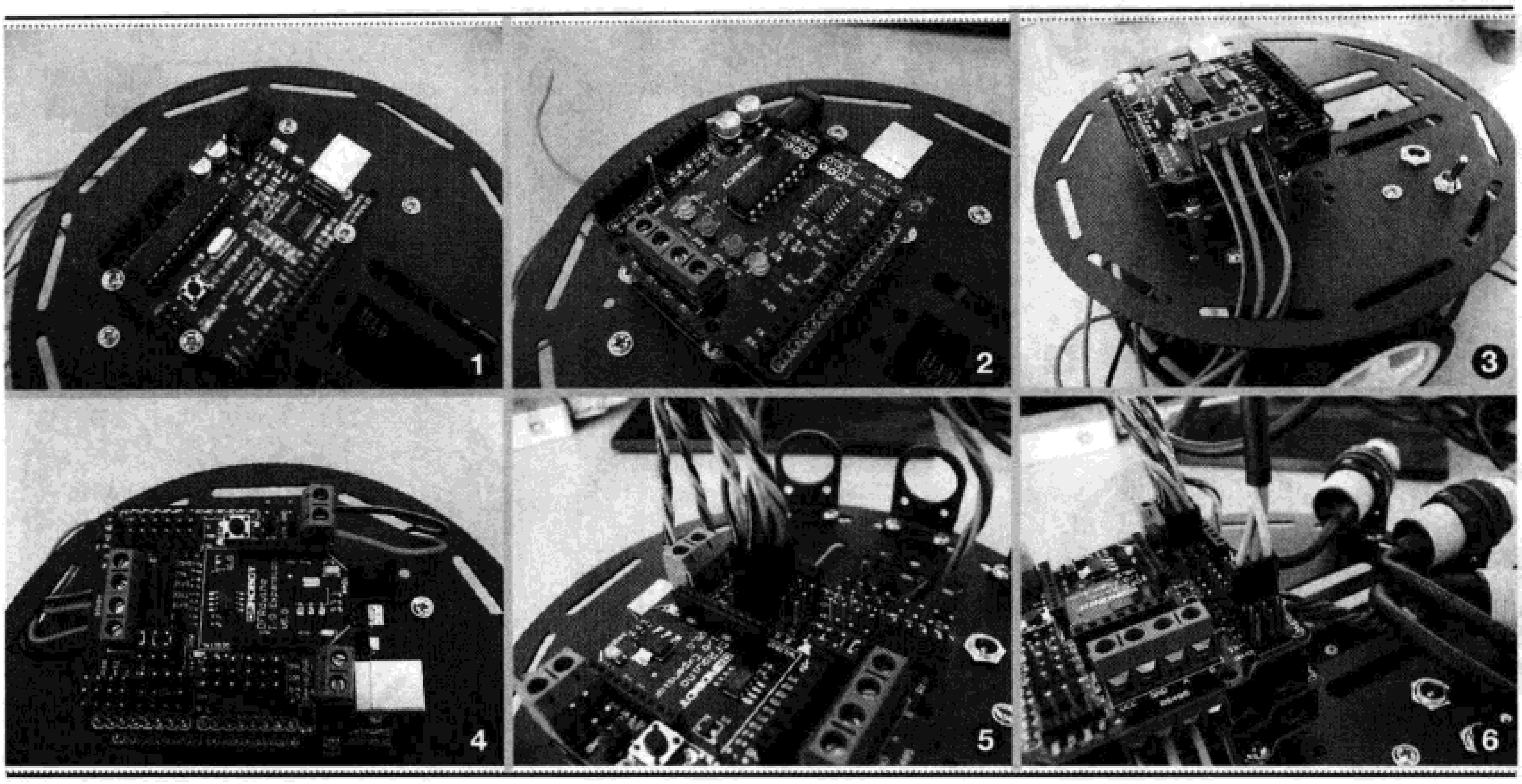
再将电源正、负极线插在扩展板的VIN、GND上。

❺ 安装寻线传感器，并将3个寻线传感器的连接线分别插在扩展板的数字10、11、12接口。Mini寻线传感器可以帮助小车进行白线或黑线的跟踪，它可以检测白底中的黑线，也可以检测黑底中的白线。单组寻线信号可以提供稳定的TTL输出信号，使寻线更准确更稳定。在扩展板上的接线顺序是：红色线—电源正，黑色线—电源地，绿色线—数字信号。

❻ 安装红外接近开关，并将左边、中间、右边接近开关的连接线分别插在扩展板的数字2、3、8口。红外接近开关是一种集发射与接收于一体的光电开关传感器，其检测距离可以根据实际要求进行调节。该传感器可以广泛应用于机器人避障、互动媒体、工业流水线等众多场合。无障碍物时，该开关输出高电平，有障碍物时输出低电平且探头后面指示灯亮，探测范围为3~80cm。接口依次定义为：红色为电源，绿色为地，黄色为信号输出。

至此，这个3PA小车的组装全部完成，可以进入我们的实战阶段了。让我们好好来把玩一下这个小车吧。

将程序下载到小车后，可以在数字第9口的数据插针上插一根杜邦线，另一端插在GND，就选择了避障模式，小车可以实现避障功能。另一端如果插在VCC就是选择寻线模式，小车可以实现寻线功能。



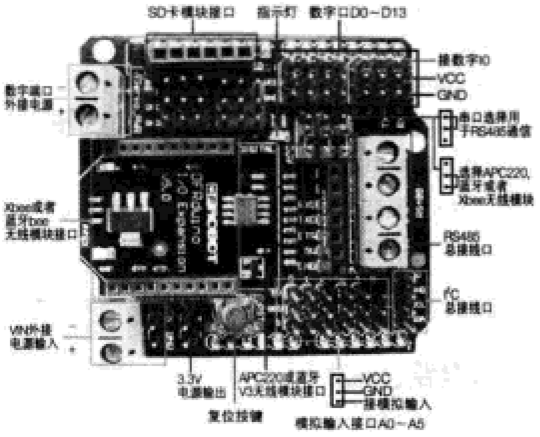
就像文章最前面所说，3PA小车这个平台有很多安装孔，可以安装其他传感器，实现相应的功能。下面列举3个扩展的例子介绍一下。

3PA小车配合寻线传感器可以实现具有寻线功能的小车啦。我们可以在程序中写好是检测到白线行驶还是检测到黑线行驶，当检测到不是赛道时要进行转弯等。通过对Arduino控制板编程，不但可以控制3PA的前进、后退、转弯，也可以通过PWM脉冲占空比的方式来调节小车的速度，程序写好后将程序下载到小车的控制板上，这样将小车放在跑道上后，它便会很听话地按照您设定的白线或者黑线的路径进行“无人驾驶”啦。

3PA小车配合避障传感器就成为了具有避障功能的小车。在程序中，我们可以根据3个传感器在相应的方向上检测障碍物的情况，让小车做出相应的动作，比如，当只有左侧传感器检测到有障碍物时，可以让小车右转。将编译好的程序下载到小车控制板上，避障功能就可以实现了。

3PA小车配合舵机、摄像头、小车控制软件就可以体验远程无线操控的乐趣。我们可以通过舵机支架将摄像头安装在两自由度的舵机上，这样上面的舵机可以控制摄像头在左右方向的转动，下面的舵机可以控制摄像头进行上下动作。在程序中我们可以编写为，当接收到小车控制软件发来的控制摄像头指令（即我们用鼠标控制软件发出的命令），让舵机在相应的方向上转动相应的角度。根据软件接收到的小车周围环境的视频图像，我们可以控制软件让小车前行或转到其他方向，这些功能都可以在无线的条件下完成。当然，这还需要无线电数据收发模块和相应计算机软件的配合来实现，本文就不详述了。

你可以把这个小车套件作为学习工具，学习轮式机器人的知识，为以后制作人形机器人打基础，你可以利用这个套件学习一些搭建电路和传感器的知识，学习用程序控制小车的一些编程知识。您可以把它作为DIY平台，DIY出属于你的个性作品，然后用它去参加比赛。总之，3PA小车是一个很好的学习和开发平台，更多的功能



Arduino Xbee传感器扩展板 V5

可以继续开发。

试一试自己编写本文开头展示的那几个有趣的机器人动作吧。相关的参考程序也可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

套件销售

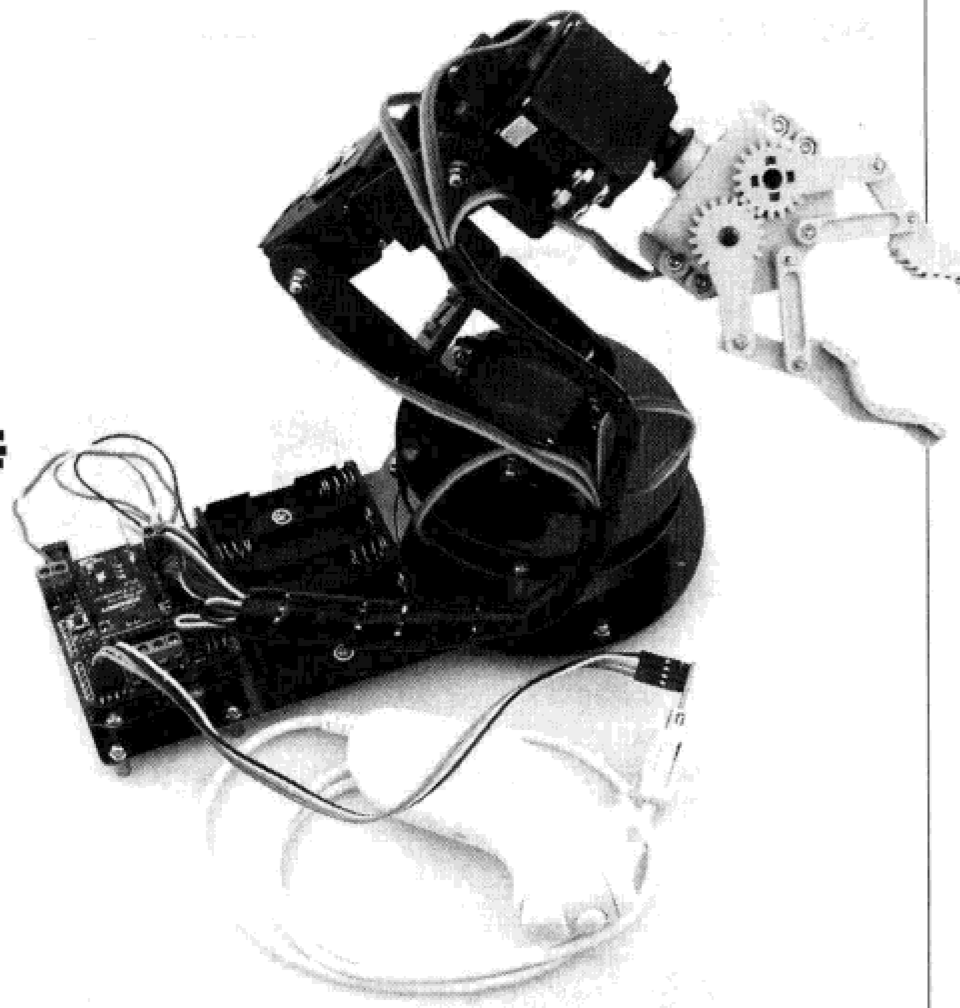
Arduino 3PA 小车套件非常适合个人 DIY 及学校实验教学使用，套件价格：639 元 / 套 + 15 元快递费（请一定注明联系电话），购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

玩转Arduino

教你DIY手柄遥控的机械臂



◎刘英杰

机械臂、机械手相信大家都不陌生，医院里的手术机械手、工厂里的工业机械手，那在电机控制下特有的运动节奏、泛着金属光泽的机械部件，每次看到都让我这样的机电爱好者感到心动。如今我找到了一款小型的6自由度机械臂，终于能圆我一个玩机械手的梦了！

6自由度机械臂初听起来让人有点不解，什么是自由度呢？自由度是指机构具有确定运动时所必须给定的独立运动参数的数目。因为这款小型的机械臂由6个微型伺服电机（舵机）组成，分别对应于臂、肘、腕（2个自由度）、张合5个关节和1个旋转底座，每个关节可在一定范围内运动，底座可以实现左右90°旋转。当让机械臂具有确定运动时，我们必须同时给出6个舵机独立运动的参数，从而实现机械臂在空间中的精确作业，所以称其为6自由度机械臂。它的任务完成情况可通过在机械臂上安装摄像头反馈图像来了解。因此，它还可安装到移动平台上，完成远程无线可视作业。同时，它也是一套非常不错的机器人演示教学平台。

只有机械臂是不能实现操控机械臂的功能的，我搜寻了一款很好用的游戏手柄Wii Nunchuck手柄。Wii Nunchuck手柄集成了1个3轴加速度传感器，提供的I^2C接口让我如获至宝，使用Wii Nunchuck手柄和Arduino配合做互动作品更可以锦上添花。WiiNunchuck手柄的接口不能直接插在Arduino板上，所以为了连接Wii手柄和Arduino控制板，我选择了WiiChuck适配器，WiiChuck适配器V2.0增加了一组I^2C接口，方便添加I^2C设备。

所需要的材料

1. 旋转底座部分：包含ARM Mounting Board、DF05BB舵机及其他安装小零件。

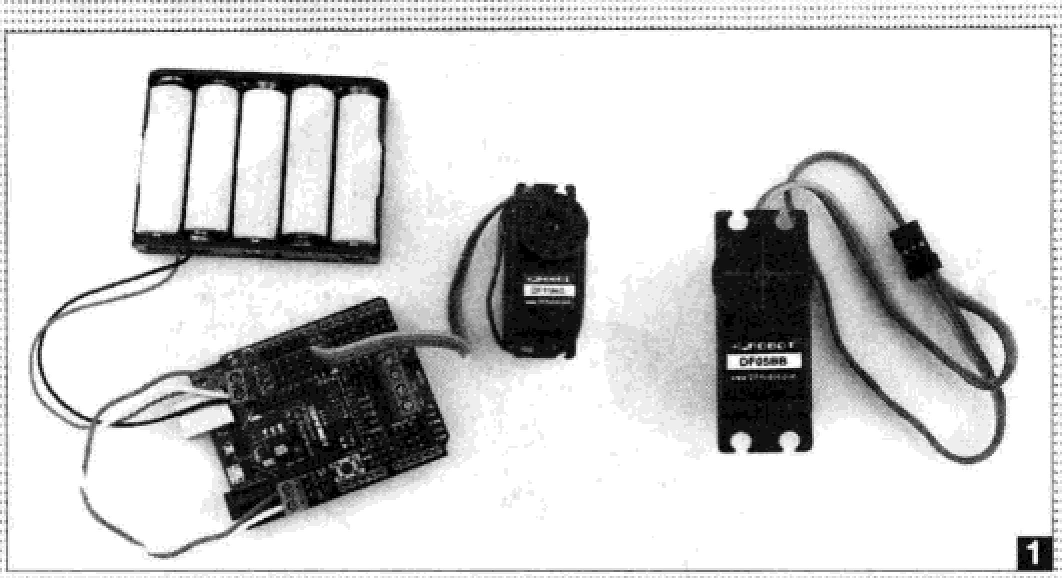
2. 机械手部分：包含小型机械手夹持器、铝合金长U型支架、多功能舵机支架、进口杯士轴承、大力矩舵机及其他安装小零件。

3. 控制电路部分：包含Wii Nunchuck手柄、Arduino控制板及适配器等。

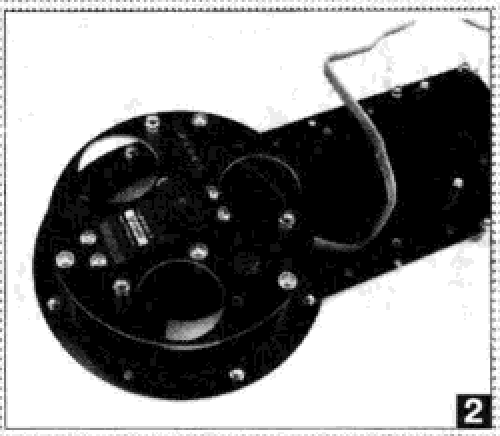
有了以上的这些材料我们还等什么呢，开始动手啦！

制作步骤

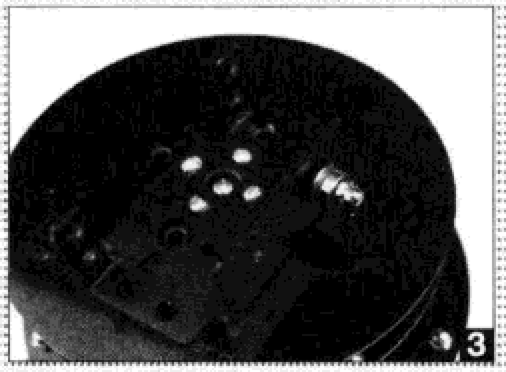
一、6自由度机械臂的安装



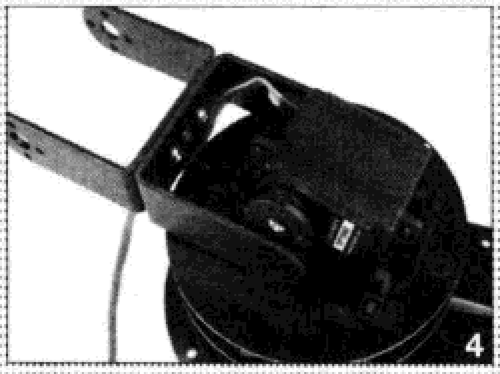
先将Arduino控制器下载好程序，然后将舵机单独接到传感器扩展板8号口，将舵机的角度都调整到90°，使码盘的4个圆孔成正十字。



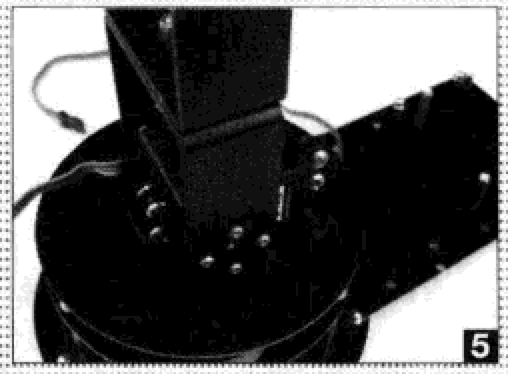
将标有1号的旋转盘和标有4号的旋转盘装好，将一只调整好角度的DF05BB舵机装在2号盘上，再将安装好的2号盘放到1号盘上，并使用螺丝固定好。



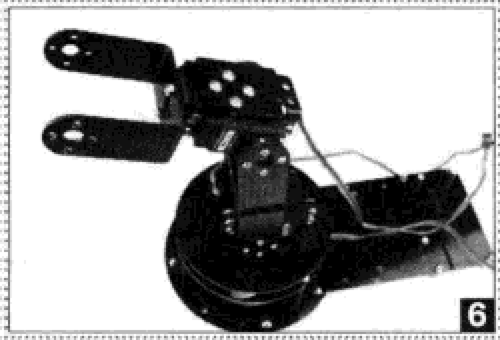
将3号盘放在2号盘上，将各个孔的位置对应好，将多功能舵机支架安装在3号盘上，再在多功能舵机支架上安装杯士轴承，并使用圆帽螺母固定好。



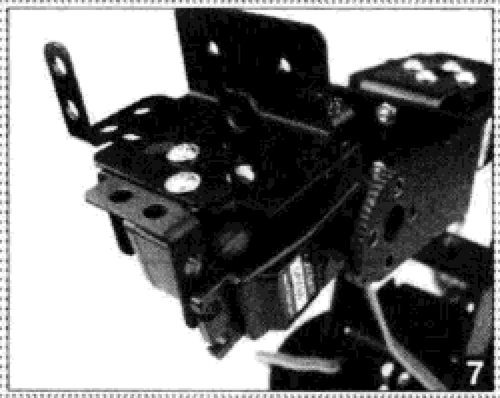
找出两个长U型支架并用螺丝连接起来，安装到3号盘上的舵机支架上，再将调节好角度的DF15MG舵机安装到舵机支架上。



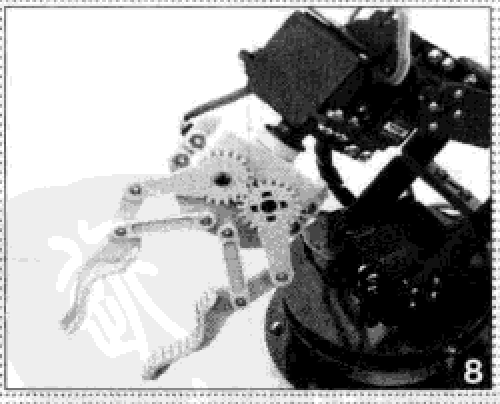
将长U型支架垂直放置，并安装好DF15MG舵机盘，再把舵机固定到舵机支架上。



依次连接好长U型支架、L支架、舵机支架，并在舵机支架上安装上杯士轴承。连接好后放在之前安装好的长U型支架上。准备一个调整好角度的DF15MG舵机，将舵机支架与长U型支架夹角张开135°，与DF15MG舵机连接。



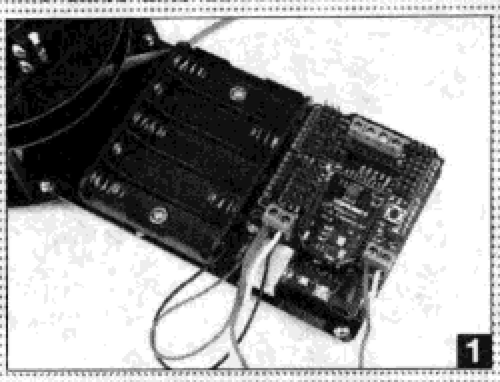
连接2个多功能舵机支架并安装好杯士轴承，然后放在主体上，准备一个调整好角度的DF05BB舵机，安装在上面。



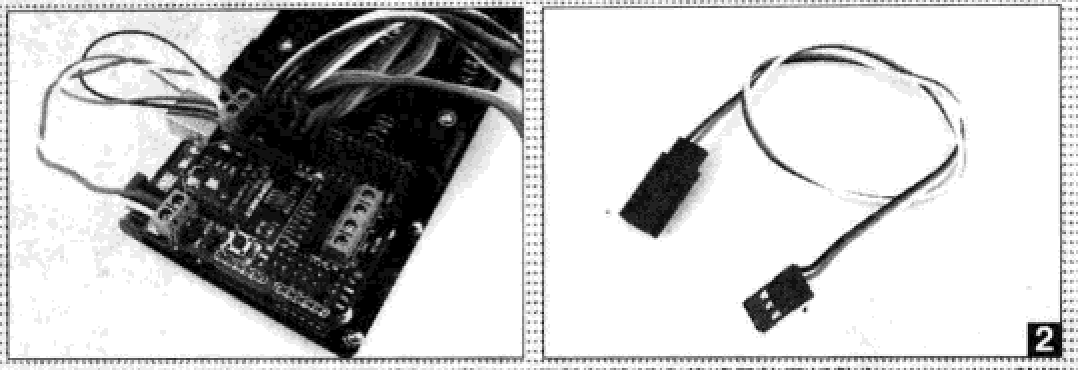
将夹持器与腕部DF05BB舵机安装好，并装在主体上。

这样6自由度机械臂就安装好了。

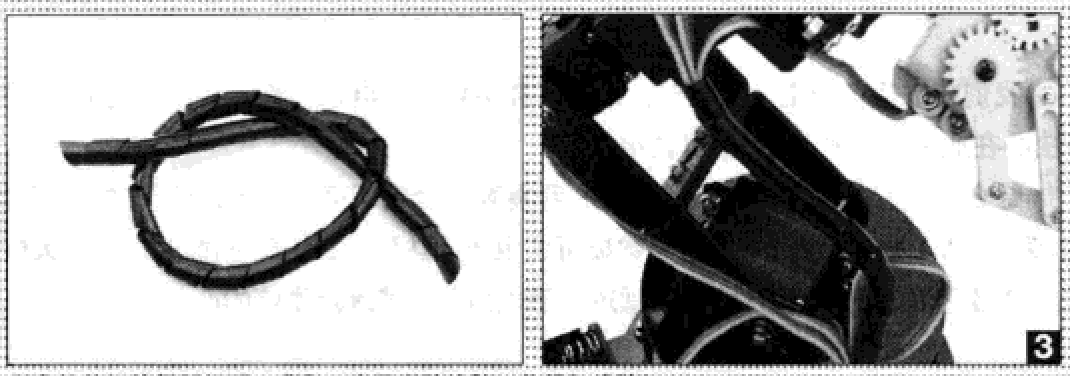
二、控制电路的安装



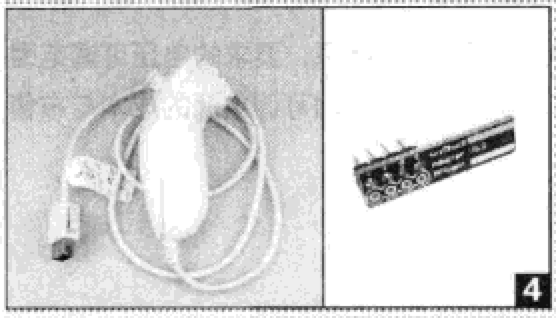
将DFRduino Duemilanove 328控制板、Xbee传感器扩展板及电池盒依次安装上，再将电源正负极线连接在扩展板Servo_PWR接线柱上，电源连接线从Servo_PWR接线柱上连接到VIN接线柱上（红线表示正）。



将机械臂舵机从下到上编为1～6号舵机，将1～6号舵机线插在传感器扩展板数字口8~13上，舵机线的黄色线为信号线，红色为VCC，棕色为GND，长度不够的舵机线可以连接一个舵机延长线。



所有的舵机线都插好后，准备一个黑塑缠线管，将舵机线缠好。



准备好Wii Nunchuck手柄及Arduino适配器（这款套件中不含Wii手柄，可到电子市场中购买）。

5 将适配器上的各个I^2C引脚和扩展板上的I^2C引脚一一对应连接好，注意两者的线序是不同的，再将适配器和Wii Nunchuck手柄连接好。这样我们的硬件部分就安装好了，见题图。

对控制板进行编程的细节本文就不介绍了，具体程序可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

教你如何玩

将程序下载到控制器后，安装好电池。我再说一说利用wii手柄如何控制各个舵机。右手握住手柄，拇指向正前方拨手柄上的摇杆不松手（向正前方拨动的目的是选中1号舵机），此时向右侧、左侧转动手柄，旋转底盘就会随之旋转。如果从左侧逐渐向右侧转动手柄，旋转底盘也会从左侧逐渐转动到右侧，所以当想让机械臂的某个部位转动到某个方向时，就可以利用手柄先选中这个部位对应的舵机，然后旋转手柄，控制舵机旋转到设定的位置。控制2号舵机，拇指向正后方拨动摇杆，向上、向下转动手柄，2号舵机处的关节会随之上下；控制3号舵机摇杆向正左方拨动，手柄上下转动；控制4号舵机摇杆向正右方拨动，手柄上下转动；控制5号舵机需松开摇杆，按下标着字母C的键，手柄上下转动即可；控制6号舵机按下标着字母Z的按键，左右旋转手柄即可。

这里提到的左右旋转手柄是指，用右手握住手柄，让带有摇杆的面朝上，左旋转是让带有摇杆的那一面从朝上逐渐旋转到朝左侧的位置，右旋转是让带有摇杆的那一面从朝上逐渐旋转到朝右侧的位置。摇杆的面朝上就是中间位置。同理，上下旋转手柄是指，用右手握住手柄，让带有摇杆的面朝上，手柄的尾部朝自己，向上旋转是让带有摇杆的那一面从朝上逐渐转动到朝自己这一侧，向下旋转是让带有摇杆的那一面从朝上逐渐转动到背离自己的一侧。机械臂上的夹持器能轻松夹起最大直径58mm、大小100g左右的物品。张开后夹持器长度为100mm，闭合后的长度为125mm。

此次，我写的配文程序（可到本刊网站www.radio.com.cn上下载）只是控制机械臂其中的一种方法，大家还可以充分发挥自己的想象，巧妙组合各个按键，控制各个部位的舵机，让它像你的手臂一样灵活，那将会更好玩。从中大家可以学会如何去控制舵机，并利用各个舵机的配合完成相应动作。除了上述的控制模式，我们还可以做成无线遥控的机械臂。无线遥控需要添加的器件有：Xbee传感器扩展板、一对Xbee模块。Xbee模块作为无线通信的工具，一块插在机械臂电路部分的Xbee传感器上，另一块插在新添加的Xbee传感器扩展板上。有兴趣的“童鞋”也可以继续研究，做出属于自己的机器臂，那可是“酷毙”啦！

套件销售

6自由度机械臂套件（不含wii手柄）适合个人DIY及学校实验教学使用，套件价格：1270元/套+15元快递费（请一定注明联系电话），购买方式如下：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明购买的套件名称及汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

◎梁文志

DIY双路数显可调稳压电源

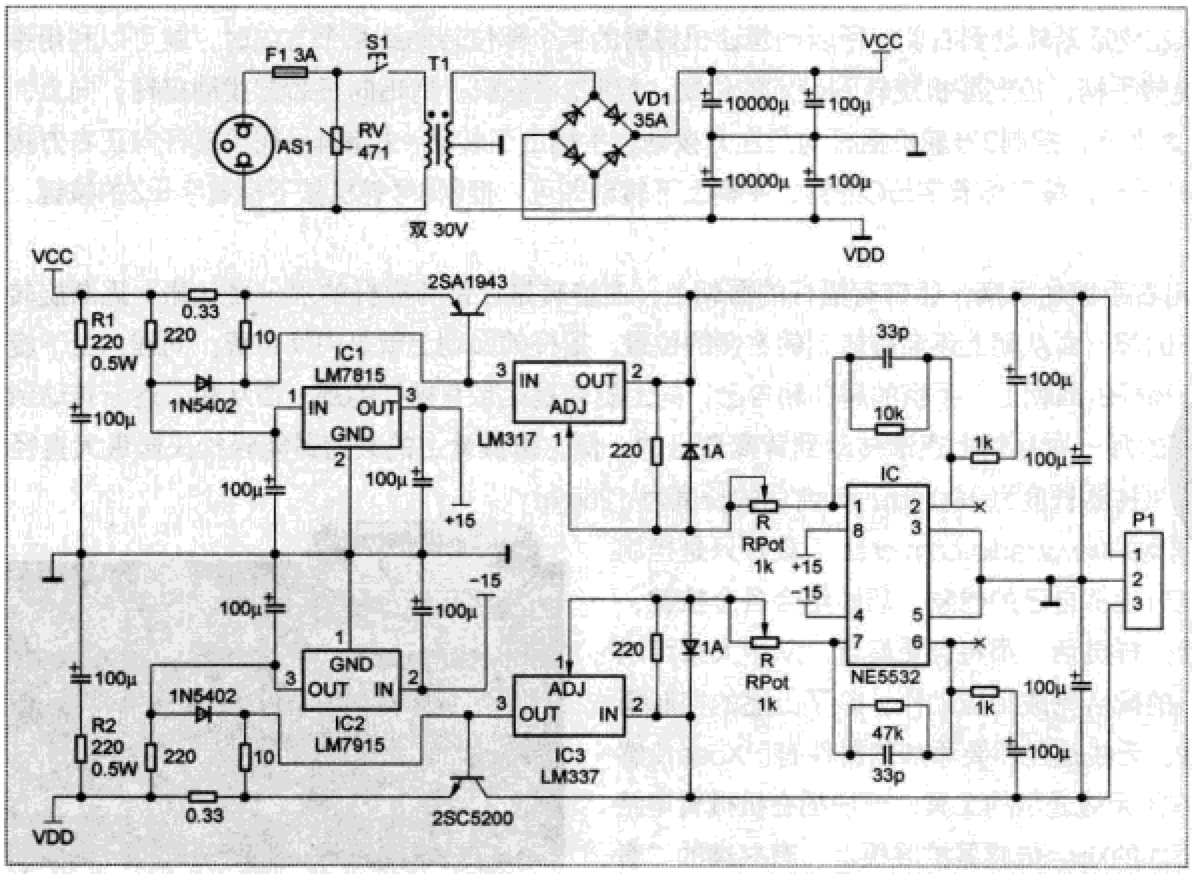
我们在进行各种电子实验时，常常需要用到可调电源。笔者没有可调电源，给我喜爱的单片机实验带来了一定不便，所以下决心在业余时间里DIY一个可调电源。

综合常进行的各类电路实验情况，我需要一台电压可以随意调节、方便使用的大功率可调稳压电源，要求的电压可调范围在1.25~30V/2A。不少市售的双路数显可调电源能达到双30V/5A指标的，价格大概在400多元。虽然自制可调电源的成本与市售成品价格不相上下，但DIY既可以锻炼动手能力，又能满足发烧的心。

我采用了制作工频电源的方案。工频电源可以利用工频变压器，使次级获得相应的电压，经过二极管整流，使方向和大小随时间做周期性变化的电压变成脉动的全波直流电压，再经过滤波，利用电容两端电压不能突变的原理使脉动的直流电变得平稳，然后输出。当然，工频电源也可使用电感滤波，电感滤波体积大、成本较高，往往使用在胆机上，电感滤波主要依据的是流过电感两端的电流不能突变。

笔者手里闲置着一头150W的灌胶恒达“牛”，双28V输出，由于噪声略大，不想用来制作功放，它的功率是150W，为全铜绕制，用它做可调电源的“牛”应该比较理想。

我在这个电源的显示部分采用了数字电压电流表。我曾想参考《无线电》2010年第7期《自制4位半液晶数字电压表头》一文，该作者使用的是ICL7129芯片。于是我查阅相关资料，并在淘宝网上了解详情，还多次跑到电子市场找寻。由于没有买到主控芯片，所以我放弃了自制显示部分，而是购买了两个三位半的电压和电流表头套件。我用了近一个下午的时间，将4个表头装好。在确认元件无误后，我使用了焊台焊接，由于该套件的板子是镀锡板，所以焊起来比较容易。



电路图

提醒读者注意，在焊接前，我们应该用砂纸打磨颜色不光泽的元件引脚，如果焊接的板子失去了光泽或放置时间过长，也应该用酒精先擦拭，以确保焊接的一次成功。

电流表要与分流器并联分流，我用的是20A的分流器，电流表接在用电器后面，以保证安全，电压表则可与用电器直接并联。

我选用了一个铝合金的机箱做这个电源的外壳。将工频电源装入机箱后，我使用了保险丝和压敏电阻相连，组成过压保护电路，压敏电阻采用MYG10K471型号的，MY表示压敏电阻，G表示过压保护，471代表耐压为470V。因为我们的家用电是220V，峰值达311V左右，所以要高出峰值一些，一般比峰值高1.5倍，所以我选用了471型。保险丝选用的是3A的。平时压敏电阻阻值呈无穷大，即开路，由于压敏电阻与工频电源并联，当工频电压超过470V时，压敏电阻阻值迅速下降，将保险丝熔断，以保护电路。

我在学校使用的高频信号发生器在调节时往往不容易快速调节精确，总是超过一点或差一点，为了避免在这个自制的可调电源上出现这个问题，我使用了1个4.7kΩ的多圈电位器和一个1kΩ的电位器串联，构成可调网络，保证在使用时能方便快速地调节。

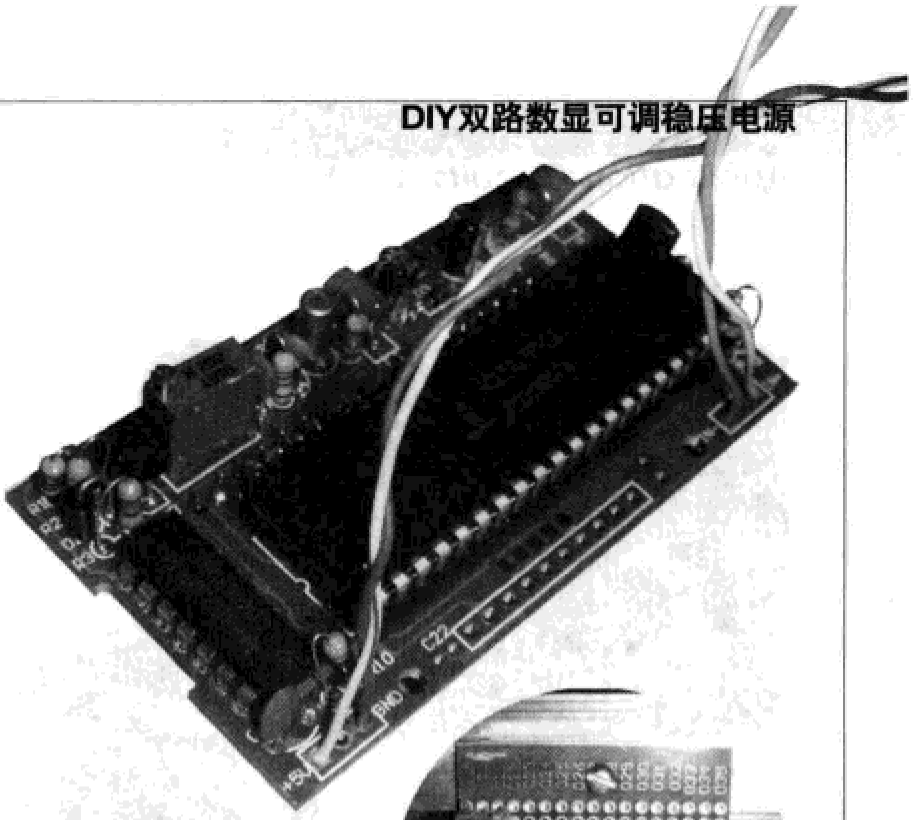
为了便于安装和增加可靠性，我在电路中采用了一个35A的方桥整流，接头处用热缩管套上，以保证安全。主电路在一个12cm×18cm的环氧万用板上制作，滤波电容每一路采用10000μF电容滤波，使得电路能够适应大电流供电。万用板用3mm铜柱固定，用油笔画好后打眼固定，大电流走线采用截面积为5mm^{2}的粗线，连接线全部使用插头，便于安装调试。

主电路以两个三端稳压为核心，它相比分立元件制作的稳压器具有体积小、可靠性高、价格低的优点。笔者采用的是LM317和LM337，由于它们的输出电流较小，最大也只有1.5A，所以我加上了扩流电路，扩流管采用的是东芝的2SA1943和2SC5200对管，建议大家使用原装品。三端稳压器自身有完善的保护电路，但接上扩流管以后，一旦过载或短路，扩流管很可能损坏，所以要加上相应的保护电路。由于2SA1943和2SC5200发热量很大，我把它们固定到了机箱上，便于散热。

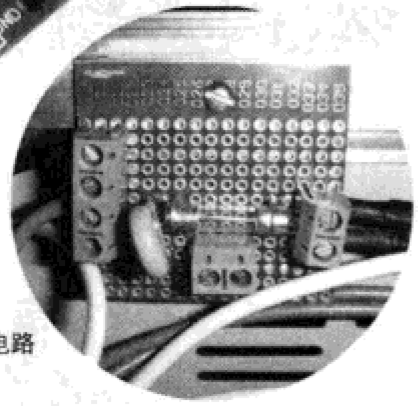
三端稳压器后面的滤波电容不宜过大，过大会导致输出不稳定，由于三端稳压器和电容构成了负反馈放大电路，电容容量过大有可能会产生自激，使输出不稳定，所以输出电容控制在22～100μF为宜。

调试完成后，我用12V直流电机（录音机上的）加螺旋桨做负载，发现长时间工作时发热量较大。本次制作偏重于大功率供电，所以我又想办法加装了散热片。由于内部空间有限，所以将LM317、LM337固定到了机箱的横梁上，并将螺丝固定处涂上硅脂，垫上绝缘胶垫。

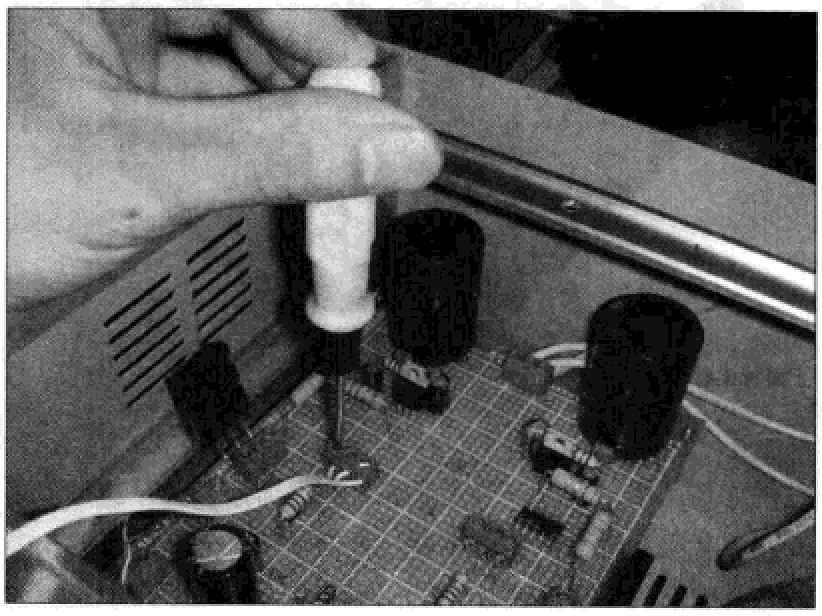
功放的变压器往往会对周围的电路产生干扰，生产厂家



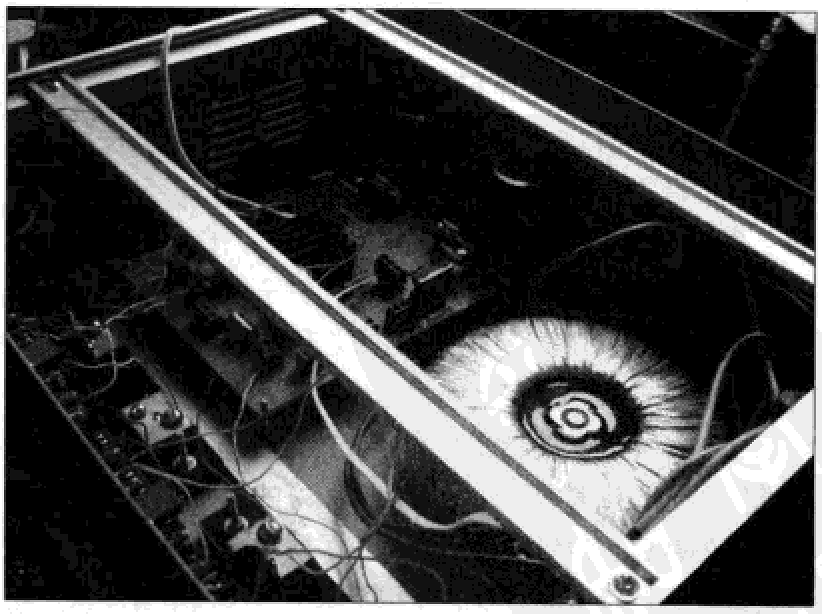
组装好的数字电压表电路



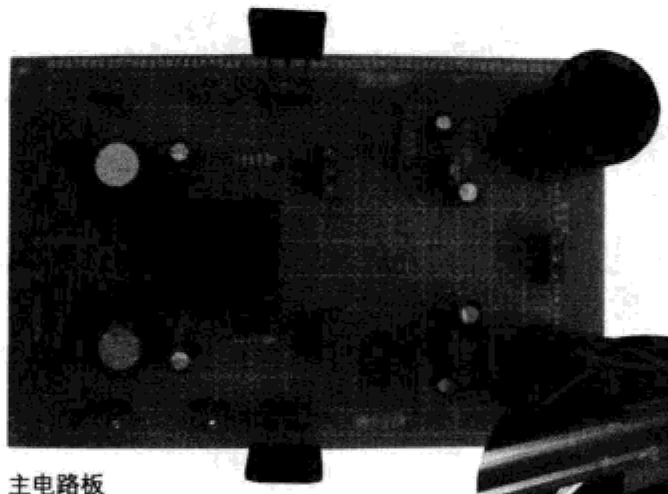
过压保护电路



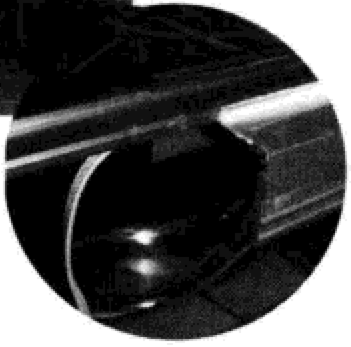
连接线全部使用插头



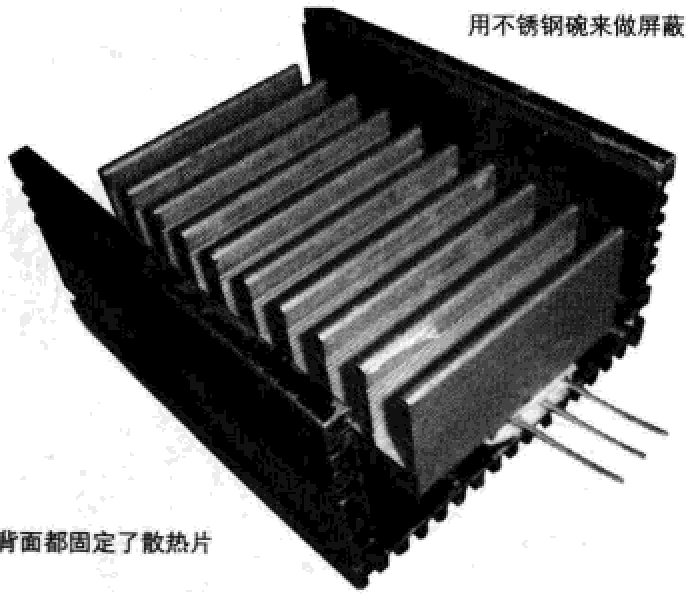
电源内部结构（由于是测试中拍的，所以扩流管没有加散热片）



主电路板



用不锈钢碗来做屏蔽



正面背面都固定了散热片

往往才用“牛罩”（一种金属壳）来做屏蔽。为了避免电路干扰，我虽然没有采用“牛罩”，但使用了一个废弃的、内部略有破损的不锈钢碗做屏蔽，既环保，又派上了用场.

东芝大管2SA1943和2SC5200发热量最大，尤其在功率较大时越明显，我找来两个闲置的铝壳和散热片，两边固定，这下散热基本满足了。

最使我头疼的是面板部分，面板的加工一直是我的苦恼。变苦恼为动力，我先用铅笔画，再进行修改。按照我在面板背面画的位置，我在面板上打了数十次眼，又用锉子打磨，总算完成了面板的加工，总体还可以。自制面板时，建议大家用铅笔画好打眼的位置，再用钉子划出一个十字架，用手电钻或台钻打眼，防止由于视觉误差引起的打偏。

制作完成后，笔者将电源的输出接上万用表测量，其输出完全与数字表头的指示相吻合，打至直流10V挡，使可调电源输出5V。因为我手边没有什么太好的仪器，不能测出精密偏差的数值，但借助万用表，我了解了这个自制电源的基本性能，它已基本满足我的使用要求了。经过笔者测试，此电源连续开机近10个小时，工作温度正常，使用正常。

我前后对电源进行了两次老化测试。

1. 旧电瓶激活：

我家地下室有个“沉睡多年”的摩托车电瓶，大约3年没有使用。电瓶参数为：电压12V，标称容量为9Ah。我用朋友的容量测试仪测试，发现只有约2Ah的容量。我将自制的可调电源调至15V，输出电流约2A，对它充电约12小时，然后用大功率电阻放电、充电，经过对电瓶5天的充放电调整，再用朋友的容量测试仪测试，结果容量达到了7.9Ah，使用效果很理想。使用可调电源每次充电的时间都超过10小时，我多次触摸电源顶部面板，没有发现温度异常。

2. 功放试验：

我又把自己制作的 LM1875 功放用来测试可调电源，自制 LM1875 功放参数为：

（1）最大输出功率实测达到了双 25W，国半官方为 20W。

（2）双声道输出，音箱为 10 英寸扬声器的三分频落地箱。

（3）变压器为 100W 双 20VE 型变压器。

（4）电路采用国半官方电路，只是将电路中的一个电容更换为 4.7μF 输入耦合电容。

（5）每一声道滤波容量为 6600μF。

我把可调电源输出接到了整流滤波电路之后，旋转旋钮，使之读数为 ±20V 时接通音源，将音量电位器打至较小时，功放正常工作，电压表读数不变，电流表后的小数有较小的变化。逐渐增大音量，直到最大，发现电流、电压表的显示数字都有所变化，但都在小数点后变化。

这两次测试的结果都比较理想，基本能满足我现在的使用要求了。

经过10余天的努力，制作终于落下帷幕了，我拥有了我自己的电源，心里很满足，但DIY发烧的心从未停止脚步，会不断向前。

电压输出测试

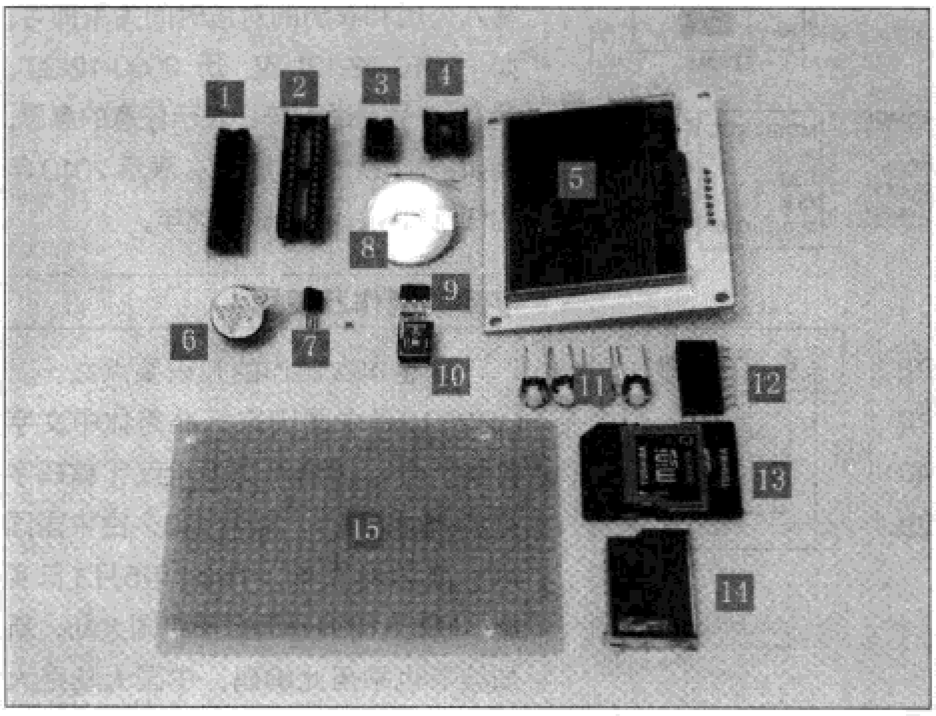
自定义提醒闹钟

◎张彬杰

在几年前，初次看到杜洋的文章，是关于电子钟的制作专辑，那时刚学习单片机，仅仅会写几段汇编代码。后来的几个月，自己也学写了一个电子钟程序，不过做得非常简陋，也没使用什么时钟芯片，仅仅通过单片机的定时器来累计计时，功能上实现了时、分、秒的显示以及简单的闹钟功能。不过，我还真是怀念以前学习单片机的美好时光，也很高兴那时自己能专心学习单片机。几年过去了，我也做了一款像样的电子钟了。在下面的内容里，我会和大家分享制作它的过程。

零件清单是制作这款电子钟的基本元件，还有一些边角料，不再列出。从零件列表中大家可以看出，整体的成本不超过80元。不过，最近这段时期，AVR单片机涨价厉害，在网上也要18元左右才能买到。如果液晶屏在淘宝网上购买的话，建议以关键字ST7565搜索，这样才能搜索到ST7565控制器的128×64液晶屏。至于其他零件比较常用，一般电子市场都能购买得到。

零件清单



材料表

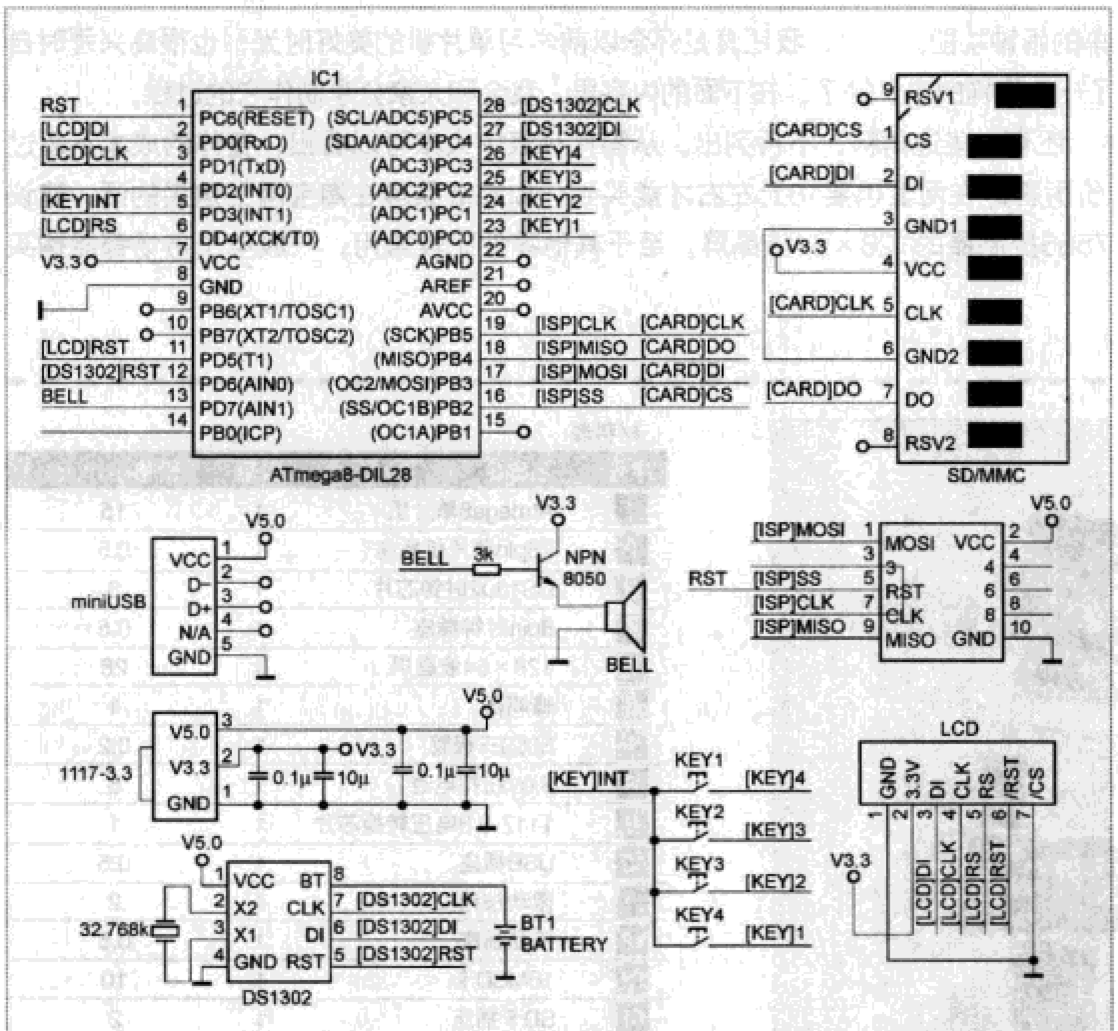
序号	名称	数量	价格小计(元)
1	Atmega8单片机	1	15
2	28pin单片机插座	1	0.5
3	DS1302时钟芯片	1	3
4	8pin时钟插座	1	0.5
5	128×64液晶屏	1	28
6	蜂鸣器	1	1
7	8050三极管	1	0.2
8	3.0V纽扣电池	1	5
9	1117-3.3电压转换芯片	1	1
10	USB插座	1	0.5
11	微动按钮	4	2
12	液晶插座	1	0.5
13	16MSD卡	1	10
14	SD卡插座	1	2
15	万用板	1	5
价格合计：			74.2

电路原理

微控制器(MCU)我选择了AVR单片机的Atmega8，因为比较熟悉。它的程序存储器大小为8KB，数据RAM大小为1KB，工作电源电压范围为2.7~5.5V，最大工作温度为+85℃，最小工作温度为-40℃。时钟芯片选择DS1302，DS1302是美国DALLAS公司推出的一种高性能、低功耗、带RAM的实时时钟电路，它可以对年、月、日、周日、时、分、秒进行计时，具有闰年补偿功能，工作电压为2.5～5.5V。采用三线接口与MCU进行同步通信。最后，通过使用SD卡的SPI模式和单片机的SPI接口连接，进行数据交换。SD卡相当于容量很大的SPI接口的FLASH，在制作过程中，也可以替换成大容量的FLASH芯片。128×64液晶仅仅需要4根线和单片机连接。由于使用的控制器是ST7565，它不带中文、英文字库，因此需要自己建立字库。但这种液晶屏价格便宜，外观也很小巧。我购买的这款液晶屏，背光是橘黄色的，到了晚上会发出迷人的光泽。

工作原理

在制作之前，我先介绍一下它的工作原理。控制芯片使用的是AVR的atmega8单片机，简称M8。大家也可以使用熟悉的51单片机（程序可以到www.radio.com.cn上下载，大家根据需要自己修改或移植）。程序通过读取SD卡内的TXT文件，显示每天需要提醒的内容。因此，可以通过电脑，方便地修改提醒的内容，如节日、生日、纪念日等。不必再为了修改液晶屏上的提醒内容而特意修改程序代码，仅仅通过编辑TXT文件即可。SD卡是通过它的SPI接口和单片机进行数据交换。液晶屏使用的是串口128×64的黑白液晶屏，控制器是ST7565，它和单片机连接也仅仅需要4个I/O口。时钟芯片使用的是DS1302，大家对它应该不陌生吧。时钟芯片通过3个I/O口和单片机连接，电源使用USB接口的5V电源，经过1117-3.3电源稳压芯片转换成3.3V电压，供给单片机、液晶和SD卡使用，大家也可以使用3.3V的电源直接供电。这款电子钟通过两个按钮实现时间和闹钟的设置。当时钟正常运行时，第2个按钮可以单独开启闹钟或关闭闹钟。



使用方法

1. 在计算机的WinXP系统下把SD卡格式化成FAT文件系统。

2.先复制字体到SD卡内，这样才能在液晶上显示中文。

3. 在根目录下新建“提醒.txt”文本文件。

4. 在文件内写入一行内容，如下：****-02-13"明天是情人节"，这样每年的2月13号，电子钟就会提醒你明天是情人节了。

大家会发现，这款电子钟没有农历的显示，如果要显示农历怎么办呢？如果朋友的生日是按农历来算的怎么办呢？其实也挺简单的，通过在文件中写入公历和农历的对应时间关系即可。如：2010-02-13" 农 历 2009-12-30"。注意：* 号是通配符，表示任意的意思。例如：2010-**-**" 虎年 "，表示 2010 年的任意日期，都会显示虎年。

字库的制作及使用

这是本次制作的知识要点之一。GB2312是中国国家标准简体中文字符集，全称《信息交换用汉字编码字符集·基本集》，又称GB0，由中国国家标准总局发布，1981年5月1日实施。GB2312编码通行于中国大陆，新加坡等也采用此编码。中国大陆绝大

多数中文系统和国际化的软件都支持GB2312。

GB2312标准共收录6763个汉字，其中一级汉字3755个，二级汉字3008个，同时收录了包括拉丁字母、希腊字母、日文平假名及片假名字母、俄语西里尔字母在内的682个字符。GB2312的出现，基本满足了汉字的计算机处理需要。GB2312中对所收汉字进行了“分区”处理，每区含有94个汉字／符号。这种表示方式也称为区位码。

01~09区为特殊符号。

16~55区为一级汉字，按拼音排序。

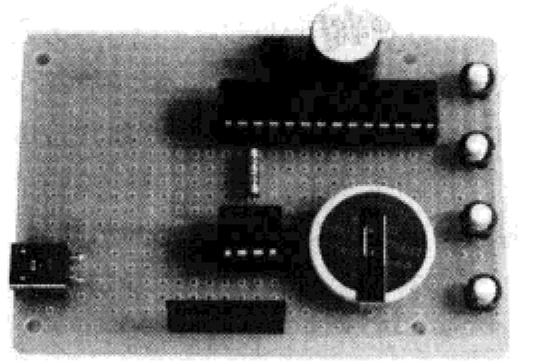
56~87区为二级汉字，按部首／笔画排序。

10~15区及88-94区则未有编码。

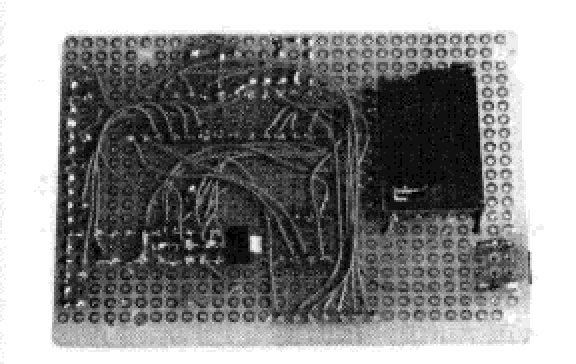
举例来说，“啊”字是GB2312之中的第一个汉字，它的区位码就是1601。

在电脑上的TXT文本文件中，每个汉字及符号以两个字节来表示。第一个字节称为“高位字节”，第二个字节称为“低位字节”。为了和原有的ASCII码兼容，“高位字节”使用了0xA1～0xF7（把01~87区的区号加上0xA0），“低位字节”使用了0xA1~0xFE（把01-94加上0xA0）。由于一级汉字从16区起始，汉字区的“高位字

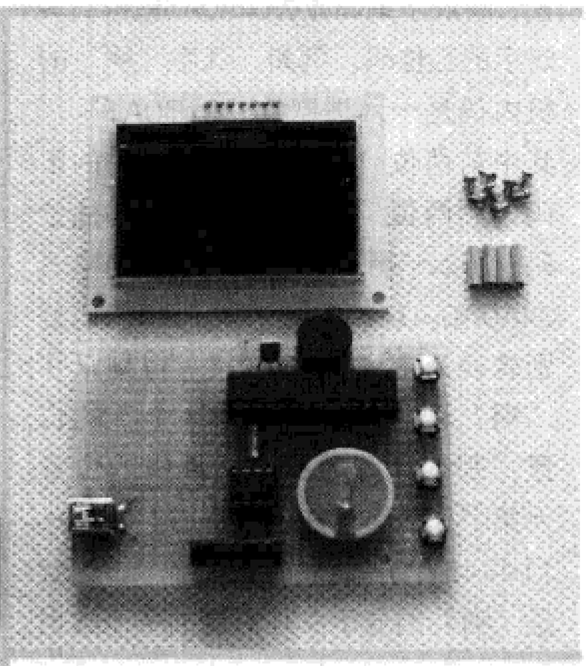
制作步骤



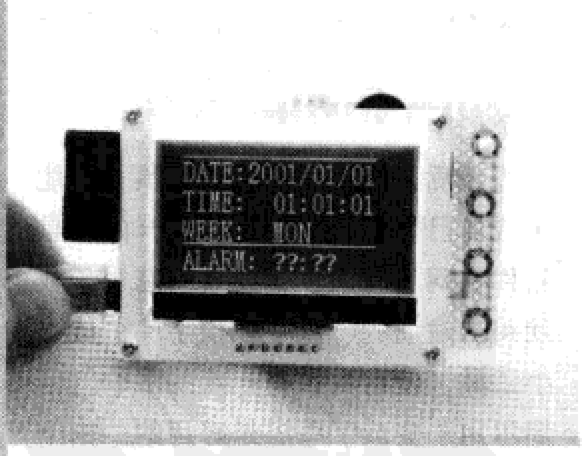
1 按图在洞洞板上安插好各个元件，并插上已经烧录好程序的芯片。



2 根据电路原理图，依次连接导线

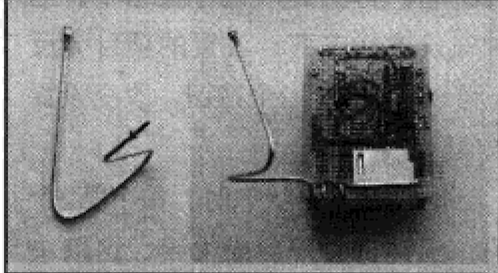


3 将各个组件准备好了后，就可以组装起来。

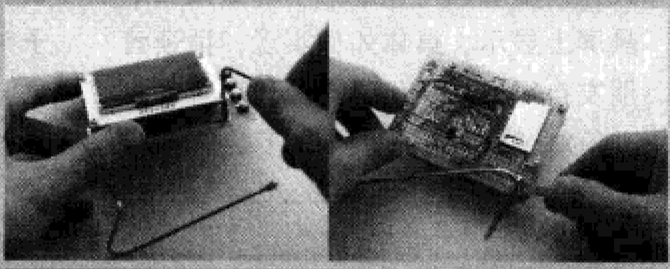


4 最后插上USB电源，就可正常工作了。

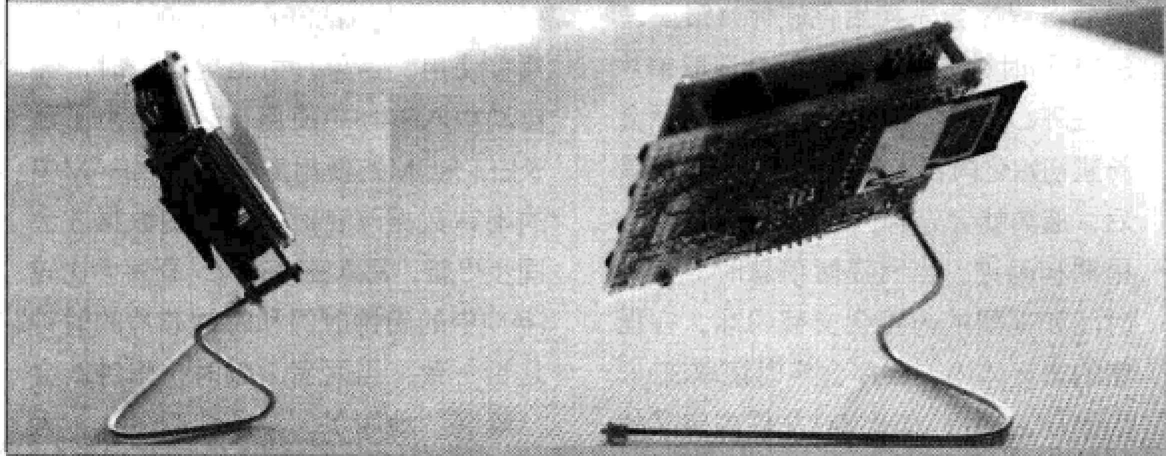
DIY的过程不仅仅是制作过程，还是一个让作品更美好的过程，为此，我又开始了这个自定义提醒闹钟的美化过程。



将钢丝弯曲成如图的形状，在钢丝上拧上螺丝，在万用板上也拧上螺丝。



用内六角扳手、普通扳手拧紧螺丝。



最终制成的效果

DIY的过程不仅仅是制作过程，还是一个让作品更美好的过程，为此，我又开始了这个自定义提醒闹钟的美化过程。

节”的范围是0xB0~0xF7，“低位字节”的范围是0xA1~0xFE，占用的码位是72×94=6768。其中，有5个空位是D7FA~D7FE。例如，“啊”字在文件中会以两个字节“0xB0（第一个字节）0xA1（第二个字节）”储存。

那么如何定位字库中的点阵数据呢？文件编码的区码范围是从0xA1（十六进制）开始，对应区位码中区码的第一区，第二个字节为汉字的位码，范围也是从0xA1（十六进制）开始，对应某区中的第一个位码。就是说，将汉字编码减去0xA0A0就得到该汉字的区位码。例如，汉字“啊”的机内码是十六进制的“0xB0A1”，其中前两位“0xB0”表示编码的区码，后两位“0xA1”表示编码的位码。所以“啊”的区位码为0xB0A1－0xA0A0=0x1001，将区码和位码分别转换为十进制16和01，得到汉字“啊”位于第16区的第1个字的位置，那么点阵数据在文件中的位置为第“32×[（16-1）×94+（1－1）]=45120”以后的32个字节。这就是“啊”的显示点阵需要的字节数据了。其中，32为16×16点阵的取模字节数，表示32字节大小。单片机通过取这连续的32个字节，送到LCD的相应位置，就能正确显示汉字、图形符号了。

最后，使用字库生成工具，就能生成自己需要的字库了。这样的工具软件在网上有许多，请自行选择。我使用未注册的“汉字取模字库生成”小工具，使用次数有一定的限制，但偶尔用于生成字库还是够用的。由于这款液晶显示数据是1列（8个点）为一个地址单位的，而不是1行（8个点）或点地址为单位。因此，取模时需使用纵向（列）取模方式取模，这样方便后期程序的编写。当然也可以直接选择“@宋体”这类字体。通过工具预览后，你会发现，这种字体旋转了90°。点击生成字库，在弹出的菜单中输入的路径和文件名。按“确认”后就会生成需要的字库了，注意后缀名为.dot。程序读取经过旋转后的32字节字体数据，即点阵列数据，就能显示一个汉字了。

存储整个字库数据是个难点，GB2312汉字库有200多字节的大小，单片机的FLASH可是没有足够的空间用来保存它。那么怎么办呢？其实，方法也挺多的。有一种实用、简单、方便的方法就是外接FLASH存储芯片。如SST25VF020、AT45DB161等，它们都是串行接口，可以节省许多I/O，读取速度也够快，但增加了制作成本。还有一种方法，可以直接放在SD卡内，但程序会复杂很多。同时，显示字体的速度也没外接FLASH快。不过最后我还是选择了第2种方法，以后的小制作中再试试第一种方法。

为了让电脑和单片机互相交换数据容易些，需要把SD卡格式化成FAT文件系统，然后单片机解读SD卡格式化后FAT文件系统，在此基础上再读取txt文件，最后调用相应的字库数据在液晶屏上显示。具体如何实现，请读者朋友自行分析源代码。源代码可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

编程说明

当我烧录完程序后，迫不及待地要运行这个电路了。把电子钟插上电源后，程序会先初始化硬件（液晶、SD卡和时钟芯片）。之后会读取单片机EEPROM里的闹钟信息，没有的话会新建初始化内容，并写入EEPROM。最后，液晶就会分4行显示时间、日期、星期和闹钟。当有提醒信息时，闹钟时间和提醒的内容会交替闪烁。在程序的循环体内，程序会定时读取SD卡内的TXT文件，如果TXT文件内定义的日期和时钟芯片的日期一致，那么单片机会读取文本文件内对应的显示内容，并在液晶的第4行显示。如果没有相等的日期，单片机会显示默认的字符串“MADEBYZBJ”，大家可以改成自己定义的字符串。

电子钟的右侧有4个按钮。但是本次制作只使用了上面2个按钮，另外两个按钮功能未用。这4个按钮的一端都连到了单片机的中断引脚，并把这个中断引脚设置为上拉，在程序中等待下降沿中断。按钮的另一端和单片机的4个普通I/O连接，这4个I/O设置为低电平。当按钮按下时，就会引发下降沿中断，此时程序修改中断，引为低电平，并把4个普通I/O口上拉，再分别读取4个引脚的电平状态。如果，某个引脚读到低电平，就可以判断对应的这个按钮按下了。最后，等待按钮的释放，不断循环此过程。

当时钟在运行状态时，按第1个按钮，将会进入时钟设置状态，再次按下第1个按钮，就会进入下一个设置选项，以此类推，直到退出最后一个选项（注意闹钟关闭状态，不会进入闹钟设置选项），这样电子钟就会退出设置状态，再次进入运行状态了。电子钟在设置状态下，设置的项目会反显，可以通过按第2个按钮，改变设置的数值。

当时钟在运行状态时，按下第2个按钮，闹钟将会开启或关闭，这取决于原来的状态。在液晶屏上会显示相应的闹钟状态信息。闹钟数据虽然保存在M8单片机的EEPROM中，但不会直接使用。当单片机上电运行时，会自动载入RAM中使用，这样是为了延长EEPROM的使用寿命。但当RAM中的闹钟数据改变时，修改的数据才会同步更新，写入EEPROM。程序会比较RAM中的闹钟时间和时钟芯片的时钟是否一致，当两者一致时，闹钟就会“嘀嘀”地叫了。至于鸣叫多久，大家可以根据自己的需要修改程序中的设置。

用8位单片机轻巧做出音乐播放器

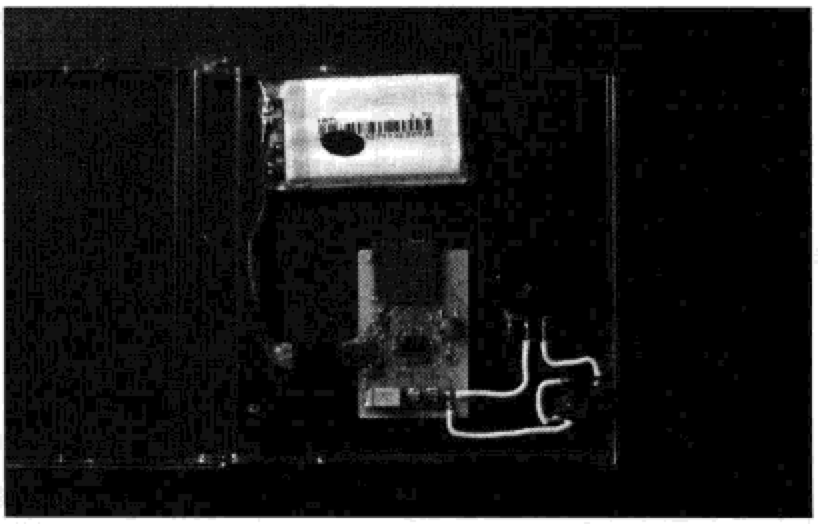
◎孙德庆

这是一个廉价MP3大行其道的时代，只要花一点点钱，就可以买到一个小巧的播放器。但是，这种行为无法带来任何的成就感。事实上，今天的存储介质和半导体芯片也同样便宜，那么为什么不打造自己的播放器呢？

对于爱好者而言，往往需要硬件和软件的简化。那么，使用MP3以及其他的压缩格式是不明智的。如果需要解压这类文件，需要使用专用解码芯片或者是强劲的处理器。这不仅增加了成本，也增加了成品体积。由于SD卡足够便宜，所以完全可以使用线性PCM编码的WAV文件来储存音乐，如果要减小体积也可以用接口完全兼容的TF卡。这样，只需要用一个常见的八位单片机做一个简单的搬移工作就可以了。

这个电路以及对应的hex文件来自于日本的电子爱好者elm-chan老师的设计。单片机选用Attiny85，这个型号的单片机拥有内部锁相环，可以输出高速度的PWM(脉宽调制)波来推动扬声器，提高音质。由于扬声器有一定的电感量，它与电容串联后具有低通的特性，因此扬声器上的电压信号就是一个低频的声音信号。这种方式类似于D类功放，效率很高。单片机另外一端与TF卡相连接。由于SD卡支持SPI访问方式，可以很方便地使用单片机读取卡内的数据，并送到PWM电路后进行输出，从而播放出音乐。

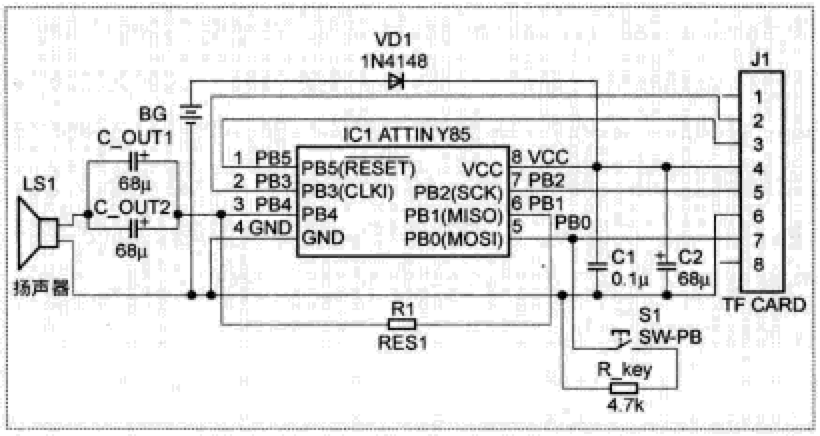
整机可以使用自行腐蚀的PCB进行焊接，以减小面积。电池可以使用软包锂电池，容量大，而且可重复使用。将电

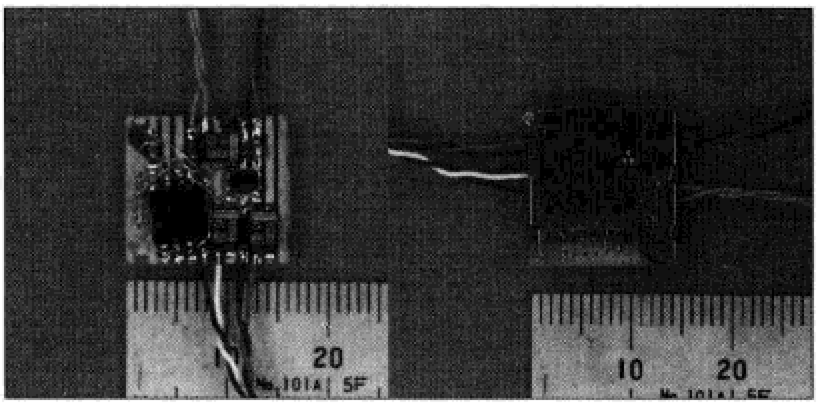


这是我DIY的电路

制作所需材料

Attiny85、TF卡及卡座、钽电容、瓷片电容、电阻、轻触按键、耳机接口、音量电位器、二极管、软包锂电池





elm-chan将这个电路的体积缩到了一片TF卡的大小

位器串联在耳机接口之前，可以调整音量到合适的大小。最重要的是，整个播放器的最大电流仅仅20mA，如果采用省电型TF卡还有很大的改进空间。数十小时的播放时间不输给大多数MP3播放器。对于外壳，我们可以采用软盘或光盘盒，能有效保护内部电路不受损伤。

烧好elm-chan提供的程序后，你就可以把喜欢的音乐放到TF卡内欣赏了。笔者最近发现，elm-chan已经将这个电路的体积缩到了一片TF卡的大小，电路更小巧有趣了。

本制作的程序下载见http://elm-chan.org/works/sd8p/report.html或到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

快带上耳机，来体验一下自己焊出的音乐播放器吧！

数字显示恒流型电子负载机

◎冉小平

笔者是从事铅酸电池充电器产品的设计工作的，通常充电器量产后，在出厂时需要进行4～8小时的满载老化实验，以确保产品质量稳定。最初，我们的做法是用实际的铅酸电池进行老化实验，但当出货量大时，需要购买很多颗电池才能满足出货量的要求，这给资金与仓库管理都带来了很大的压力。后来，我们采用大功率电阻来老化电源，不同功率的电源就需要不同的电阻，如对12V/3A的电源老化，就需要4Ω（12V÷3A）的电阻，对12V/5A的电源进行老化，则需要2Ω（12V÷5A）的电阻。当电源产品的种类单一时我们可以采用这种方法来老化，但当种类繁多时，这种方式就需要很多电阻，不但生产时更换电阻不方便，并且大功率的电阻价格也很高。基于这些原因，我制作了一台电子负载机，通过1年来的实际使用，使公司产品在老化实验时的效率得到很大提高，电源老化室的同事将这个负载机比喻成了一个可调节的万能电阻。

这个电子负载机除制作容易、成本低、调试方便外，主要有以下几个方面的特点与用途。

1. 可轮流动态显示被测试电源产品的电压、电流、输出功率和工作时间，可根据实际需求增删显示项目。

2. 可用来测试电源的性能。用恒流模式（Constant current mode，一般简称CC），可以方便地测得电源的输出电压、电流与最大输出功率，电源的电压调整率、负载调整率等参数，再配合温度测量仪器与示波器等，可对电源的各项性能进行综合测试。

3. 用来测试电池的容量。电池的容量是电池的主要性能之一，这台负载机可以用IEC规定的测二次电池的方法（恒流放电、计时、电压终止）来精确测量电池容量。

4. 用来对电源进行老化实验。这台电子负载机的输出功率是可调节的，因此可以用同一台负载机对不同的电源产品进行老化实验。

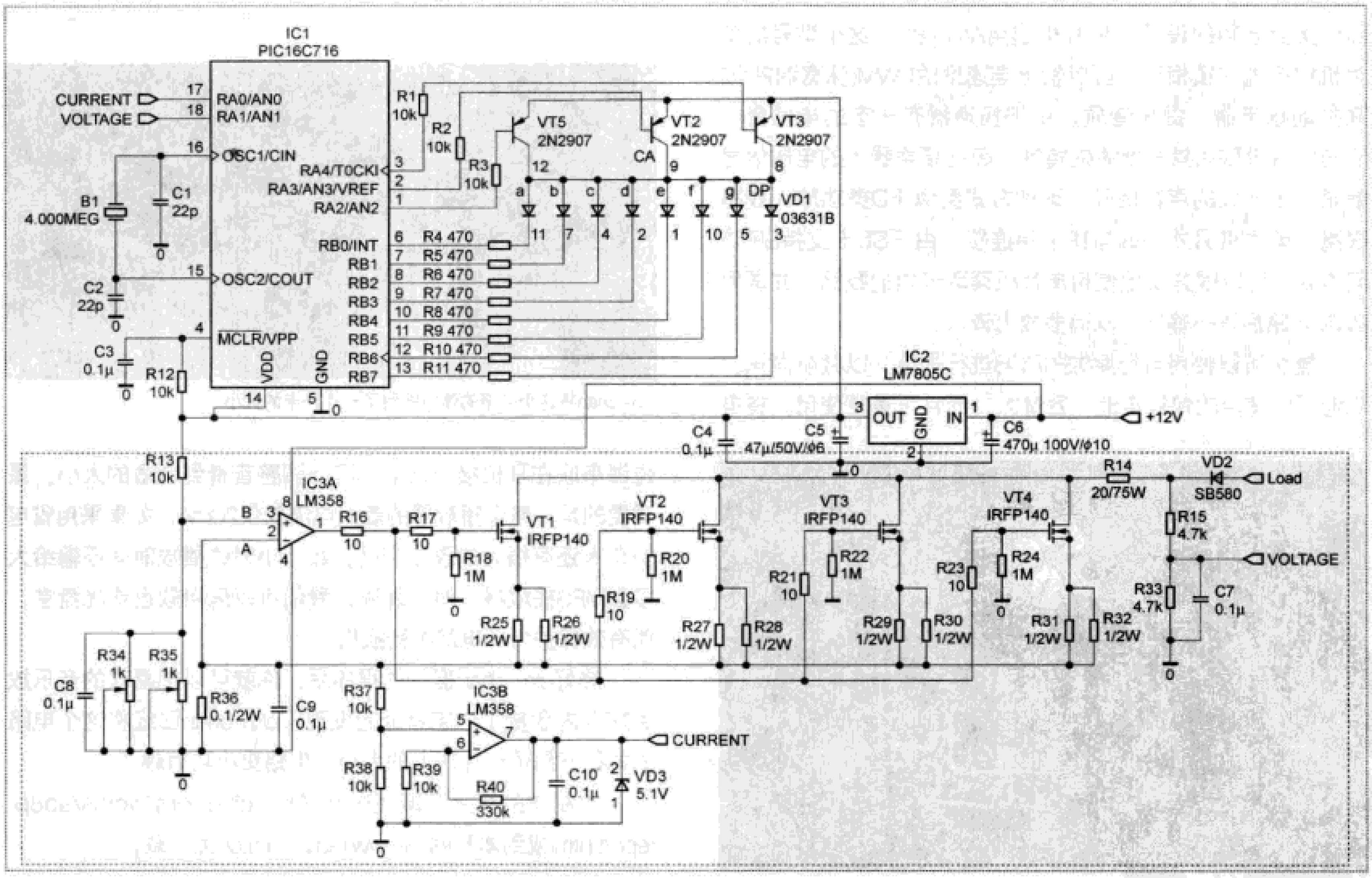


图1 电路原理图

电路原理分析

这款电子负载机主要由恒流产生电路和显示电路组成。

恒流产生电路由图1中虚线部分的运算放大器IC3A与场效应管VT1～VT4等元件组成，当负载机接通12V直流电源，并且在LOAD端有电源产品接入时，刚开始时因为没有电流流过VT1～VT4，所以在A点产生的压降低于B点所设定的电压值，IC3A将输出高电平，使VT1～VT4导通。当VT1～VT4持续导通时，电流在R36上产生的压降也将持续增大，最终A点的电压将超过B点电压，IC3A将输出低电平，使VT1～VT4不再导通，使流过R36的电流减小，并再次使A点的电压低于B点的电压，IC3A将输出高电平，再次使VT1～VT4导通。这一过程不断重复，所以最终流过R36的电流是恒定的，实现了恒流的目的。R25～R32等元件组成场效应管的深度负反馈电路，它们的主要作用是使VT1～VT4平衡发热。在实际应用中，场效应管的差异性是客观存在的，所以必须要有这些电阻，尽管它们会产生巨大的热量。如果在实际应用中VT1～VT4并没有平衡发热，就需要相应加大R25～R32的值。当这些电阻变大后，消耗的功率也会变大，所以需要根据所设定的恒流值大小选择相应的功率电阻。

恒流值计算的公式为：$恒流值=[5V/(R13+R34)\times R34]/R36$。R14可以在电源产品的输出电压较高时，消耗一部分功率，以减少VT1～VT4的发热。可以根据实际的输入功率需求，取舍R14，以减少负载机的体积和对场效应管的功耗要求。VD2可以在电源或者电池输入极性错误时保护负载机，但当它流过较大的电流时，VD2会产生巨大的热量，所以也需要给VD2增加散热器。IC3B组成电流放大电路，将在R36上产生的微小电压放大后送到IC1单片机进行电流显示。可以适当调节R40的值，使放大后的电压达到实际需要的值，电压放大后IC3B的第7脚输出电压应当小于等于5V，ZD1的作用为避免这一电压异常时对单片机造成损坏。R15与R33组成电压衰减电路，衰减倍数需要在单片机程序中校正。

显示电路由图1虚线外的元件组成，PIC16F716具有13个I/O，其中有4路8位模数转换器（AD），9路数字I/O，我们要用两个模拟I/O来采集电压与电流，其他11个I/O用来驱动3个7段LED数码管，所以我们只能将剩下的两个

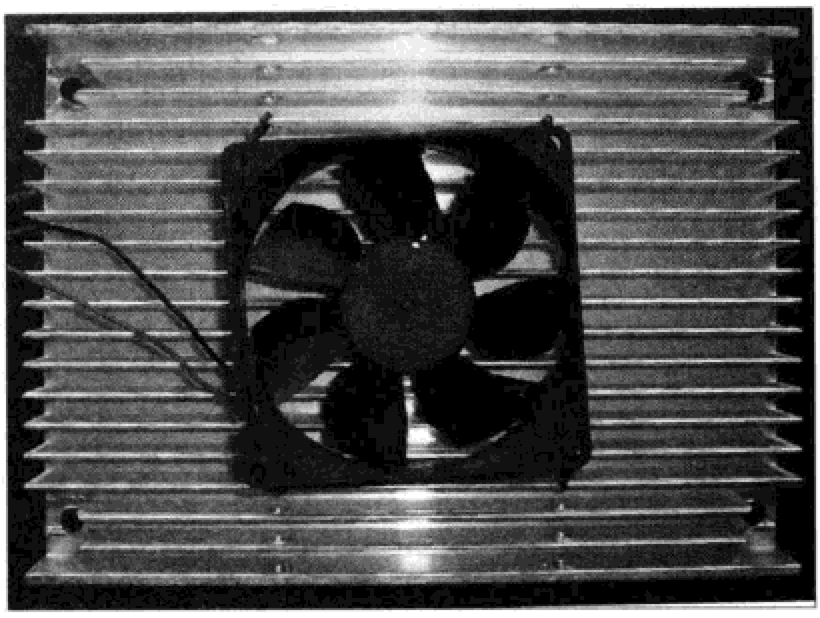


图2 散热方式一

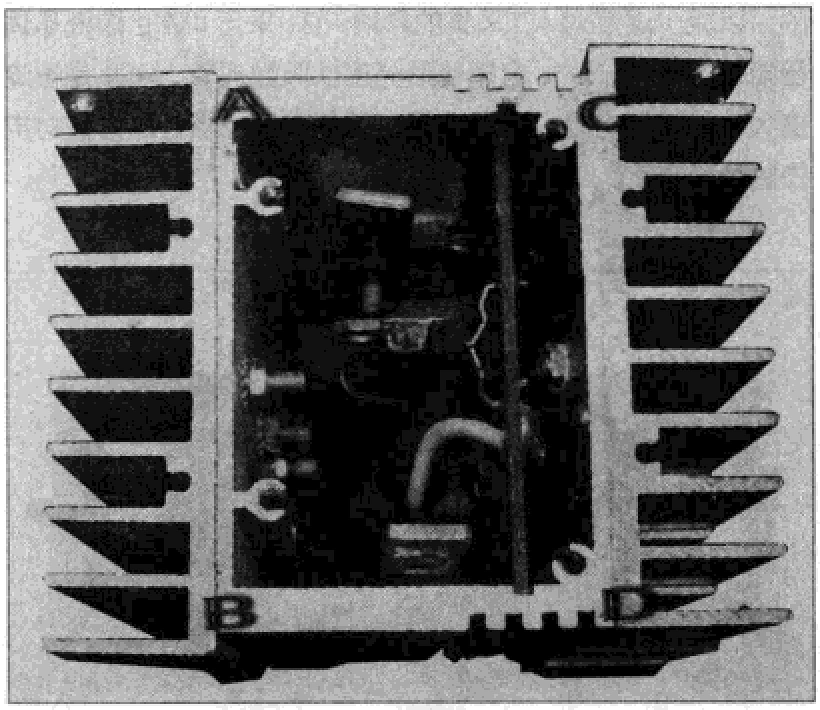


图3 散热方式二

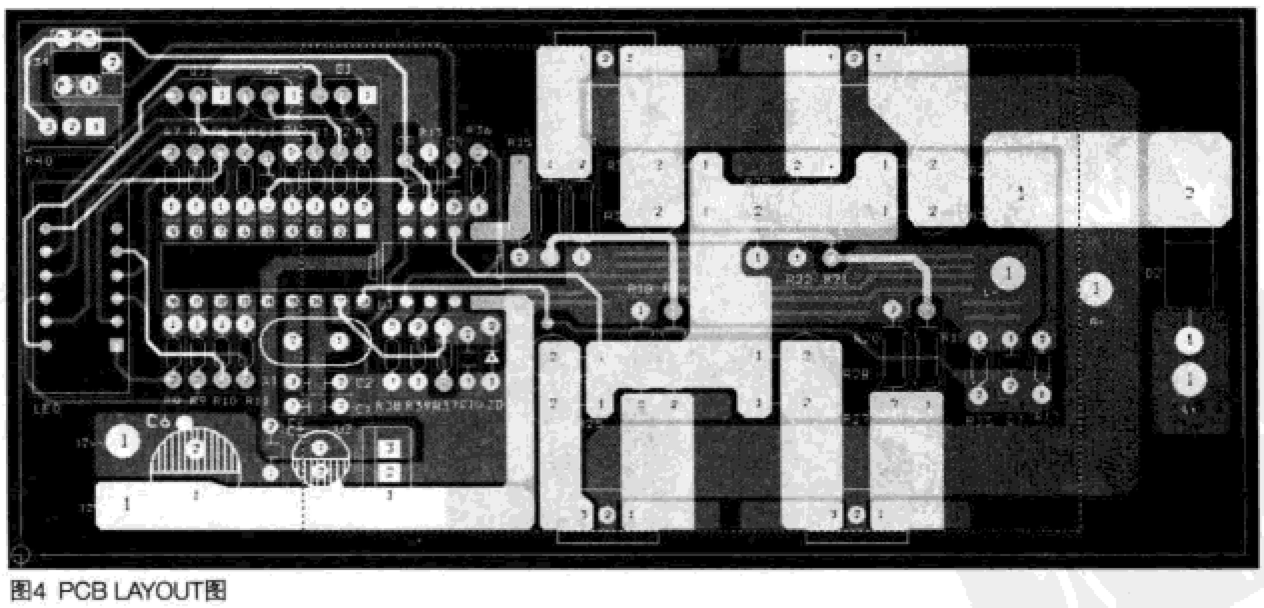


图4 PCB LAYOUT图

模拟I/O口动态配置为数字I/O口，因为所有I/O口都用完了。我们不能用RA3的参考电压功能，只能用单片机的供电电压来做AD采集的参考电压，这在一定程度上会导致电压与电流的显示精度降低。在这里我采用了动态扫描的方式来显示数字，以减少I/O口的需求。在单片机程序中，我们要适当控制扫描的时间，使数码管看起来没有明显的闪烁感。A/D采集程序是显示精度的关键因素，我们采用平均值加数字滤波的方式。显示时，小数点根据实际值大小自动调整。

元件选择

电路所有元件都为普通元件，但在选择场效应管时，根据实际情况应当尽量选择 $R_{DS(on)}$ 小、V_{DSS} 高的。IC1 输出的 5V 电压不但是单片机的供电电压，也是单片机在 AD 采集时的参考电压，所以应当选择精度高的，最好采用 TO220 封装的，以减少温度对 AD 采集的影响。B1 采用 4MHz 陶瓷晶体已能满足要求，VD1 选择普通亮度共阳数码管。R34 是恒流值大小的调节电阻，应当选择多圈的线绕电阻，以方便对电流的精确调节。

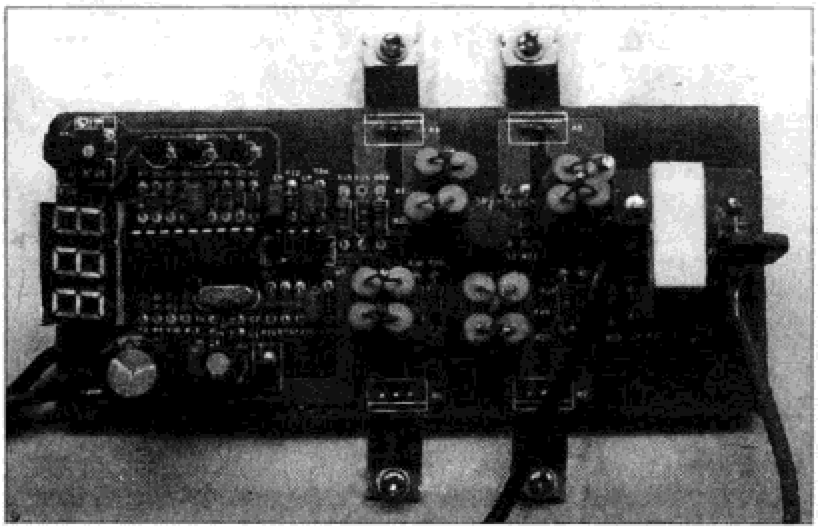


图5 电子负载机实物电路

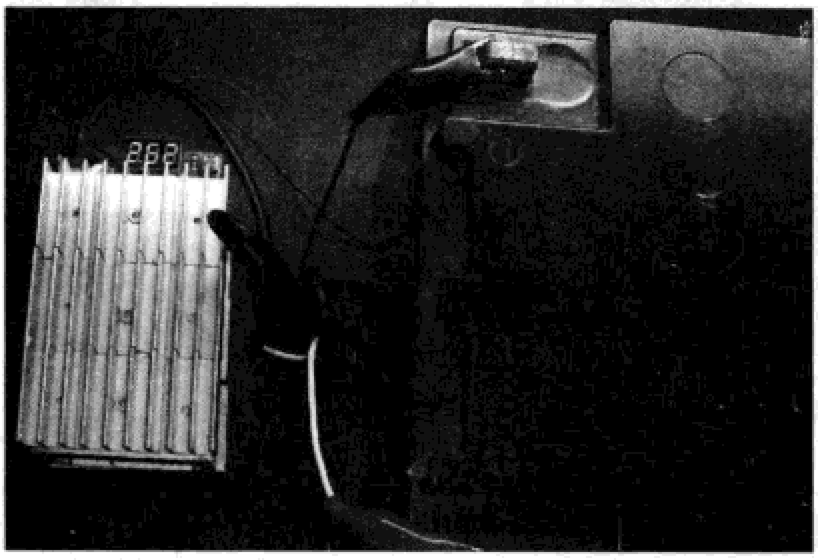


图6 使用中的电子负载机

元件列表

元件	参数	数量
C1,C2	22pF	2
C3,C4,C7,C8,C9,C10	0.1μF	6
C5	47μF/50V/Φ6	1
C6	470μF/100V/Φ10	1
VD1	03631B	1
VD2	SB580	1
VT1～VT4	IRFP140	4
VT5～VT7	2N2907	3
R1,R2,R3,R12,R13,R36,R38,R39	10kΩ	8
R4～R11	470Ω	8
R14	20/75W	1
R15,R16,R19,R21,R23	10Ω	5
R17,R33	4.7kΩ	2
R18,R20,R22,R24	1MΩ	4
R25～R32	1/2W	8
R34,R40	1kΩ	2
R35	0.1/2W	1
R37	330kΩ	1
IC1	PIC16C716	1
IC2	LM7805C	1
IC3,IC4	LM358	2
B1	4.000Meg	1
VD3	5.1V	1

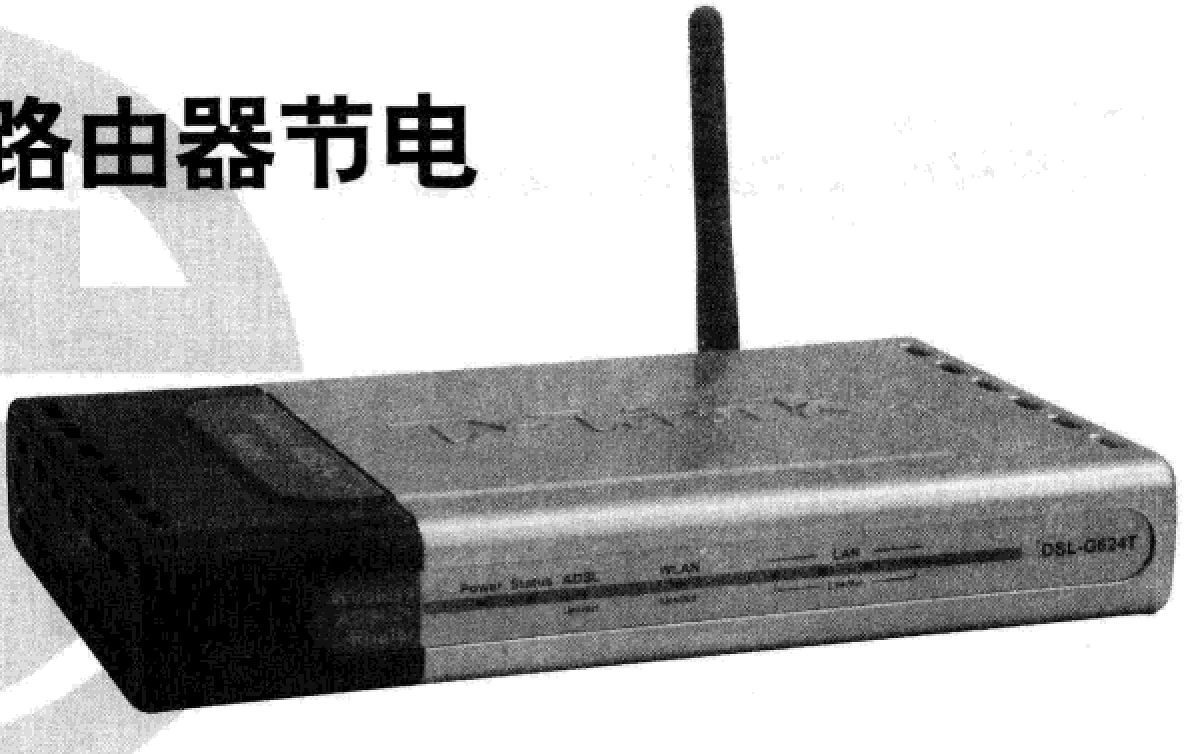
制作要点

按元件列表在电路板上焊接好后，硬件部分并不需要调整，只是在显示电压与电流时，需要在单片机程序中更改系数，使数码管显示的值与实际的电流、电压值一致。因为这台负载机的输出功率比较大，所以在实际制作中，要注意元件的散热，处理好散热结构。电阻、电容都应该采用耐高温特性好的，主要发热元件集中在4个场效应管、VD2、R14、R25～R32上。我采用的是一个体积为180mm×140mm×26mm的铝散热片，并在它的背面加装一个8mm×8mm的12V/0.3A的风扇，强制对4个场效应管散热，并采用吹风而不是抽风的方式来加强散热（如图2所示），或者采用如图3所示的散热方式。如果采用图3的散热方式，最好也加一个8mm×8mm的12V/0.3A风扇，并将它固定在A、B、C、D四个点上来抽风。图3的方式好处在于，可以对所有的元件进行散热。

4个场效应管一定要选用同一型号的。如果电源的输入电压较高、功率较大，就应当加大R14的值，以减少场效应管的发热，同时也要注意R14的散热。在PCB LAYOUT时也需要充分考虑电流流过PCB铜箔产生的热量，尽量加大铜箔的宽度与厚度，同时PCB 的LAYOUT也关系到场效应管的平衡发热问题，图4的PCB图提供给大家参考。输入输出最好采用鳄鱼夹以方便使用。图5为电子负载机成品图，图6为使用中的电子负载机。这台负载机电路的单片机程序可以到本刊网站（www.radio.com.cn）上下载，相关信息问题可以发邮件到作者邮箱Toby.ran@163.com咨询。

帮你的无线路由器节电

◎彭佩烘



为了方便，许多学校、单位、家庭都会使用无线路由器进行上网，特别是笔记本电脑用户。在使用中，大多数用户常常让无线路由器全天24小时通电，特别是在学校、单位。结果不仅白白浪费电能，而且对无线路由器使用寿命也会造成不利影响。为解决这问题，本人设计了这个节电控制器，可以实现对无线路由器供电插座开关的无线控制。当上网电脑关闭后，控制器自动发射控制信号，切断无线路由器电源，实现无线路由器的自动关闭，从而达到节电的目的。

技术参数

1. 发射部分：

工作电压：5V。
静态工作电流：1.0 mA。
发送时工作电流：7 mA。
平均工作电流：1.35 mA。

2. 接收控制部分：

工作电压：交流180～250V。
待机时功耗：65 mW。
启动时功耗：小于0.4W。
遥控距离：大于30m。

工作原理

整个节电控制器由发射部分和接收部分组成。

发射部分组成方框图如图 1 所示。脉冲振荡电路为编码电路和发射电路提供脉冲电源，大约每 10 秒提供一个 0.5 秒的脉冲电源，这样大大降低了整个发射部分的功耗。由于采用了无线编码解码技术，极大提高了抗干扰性能。使用时，发射部分通过 USB 接口插在电脑上，这样只要电脑一开机，USB 接口上的 5V 电源就会加给此发射电路。另外，也可以把发射部分设计在电脑专用的交流电源排插中，通过检测电脑负载的变化进行脉冲信号的控制。

接收控制部分组成方框图如图2所示。接收电路收到脉冲信号后经解码电路解码，去控制延时电路。延时电路的时间设成43秒左右，而发射部分每10秒左右发送来一个脉冲，结果延时电路的输出一直保持低电平。经电平检测电路后让控制电路中的晶闸管保持导通，继电器保持吸合。

电脑关机后，发射部分停止工作，经过一段时间，接收控制部分中的延时电路输出变为高电平，对应晶闸管关断，继电器释放，切断无线路由器的交流电源，实现节电功能。平时，此控制器通过小容量降压电容所提供的低功耗直流电源进行工作，耗电量极低，只有几十毫瓦，一年下来只消耗约半度电。

为了提高遥控距离，我们还可以

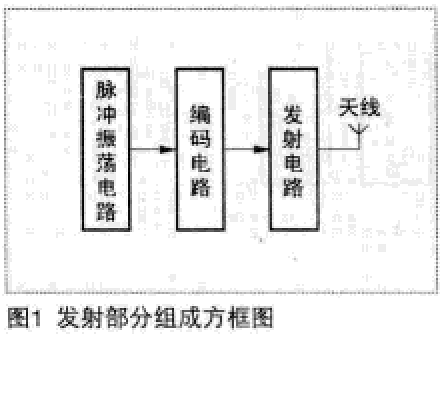


图1 发射部分组成方框图

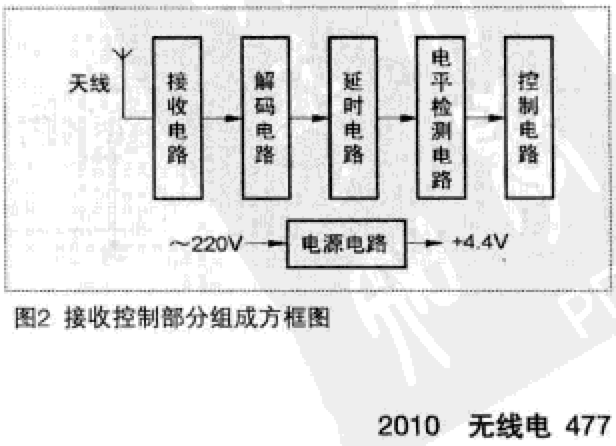


图2 接收控制部分组成方框图

各元件参数与功能

发射部分		
元件名称	型号	作用
C1	10μF 16V电解电容	振荡电容
C2	33μF 16V电解电容	复位电容
R1、R5	1.5MΩ 1/16W	振荡充电电阻
R2	75kΩ 1/16W	振荡充电/放电电阻
R3、R4	1.5MΩ 1/16W、330kΩ 1/16W	复位电阻
IC1	NE555	时基集成电路
IC2	HX2262	编码集成电路
IC3	F05P	微功耗发射模块
接收控制部分		
元件名称	型号	作用
C1	0.1μF，耐压250V～或直流400V	降压电容
C2	4.7μF，耐压160V电解电容	滤波电容.
C3	100μF，耐压10V以上电解电容	滤波电容
C4	0.1μF，涤纶或瓷片电容	高频滤波电容
C5	220μF，耐压10V以上电解电容	电源退耦电容
C6	22μF，耐压10V以上电解电容	充电电容
C7	2.2μF	充电电容
C8	0.01μF瓷片电容	抗干扰电容
R2	330Ω 1/2W	限流电阻
R3	2MΩ 1/16W	泄放电阻
R4	22kΩ 1W	降压电阻
R5	330Ω 1W	限流电阻
R6	3kΩ 1/16W	电源退耦电阻
R7	270kΩ 1/16W	振荡电阻
R9和R10	均为2MΩ 1/16W	充电电阻
R11	10kΩ 1/16W	负载电阻
VD1、VD2	1N4007	保护、整流二极管
VD3	5.1V1/2W	稳压二极管
VS	1A 600V小功率晶闸管	单向晶闸管
VT2	9013小功率管	对C6进行放电
K	JQX-13F	较大功率小型继电器
IC1	J04V	微功耗接收模块
IC2	HX2272	解码集成电路
IC3	CD4011	4-2输入端与非门
SB	交流电源开关	
LED	发光二极管	交流电源通断指示

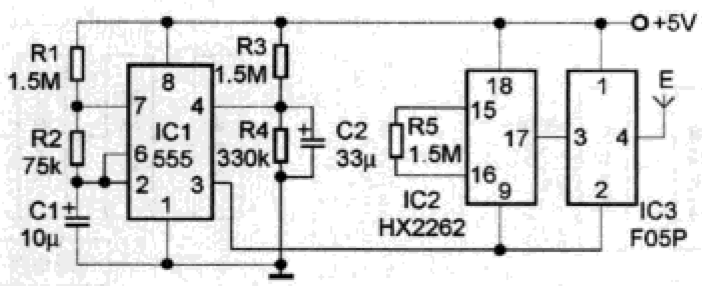


图3 发射电路

用一块555时基集成电路外加几个阻容元件，组成一个升压电路，把5V直流电压升到8V左右，再供给发射部分。

具体电路

发射部分具体电路如图3所示。接收控制部分具体电路如图4所示。发射部分内部及外观图片见图5、图6。图5中，加装了一块一扩四的USB HUB电路板。另外，发射电路直接采用了一块普通四路遥控开关的发射电路板，板上带有编码集成电路和天线。板上4个按钮中，任选一个用跨接线焊上进行短接即可。

接收控制部分内部及外观图片见图7、图8。在进行编码时，要注意发射部分的2262和接收控制部分的2272的地址编码要完全相同。

制作说明

在设计、制作这个电路时，笔者进行了不少细节的思考，也在本文中与读者一同分享，希望对大家有所帮助。

小功率单向晶闸管的触发电流很小，只有零点几毫安，而小功率双向晶闸管的触发电流大得多，一般都要好几个毫安，甚至十几毫安，因此电路中采用了小功率单向晶闸管。

晶闸管直接触发的方式具有电路简单的特点，但对于电容降压式的直流电源，只能采用半波整流，因此对应降压电容的容量需要增大一倍，同时还要确保流过降压电容的电流是交流电。如果不是非常计较功耗大小的话，降压电容可以用一个成本低得多的降压电阻替代，而且对应流过降压电阻的电流可以设计成半波的。

若电容降压式电源想要采用全波整流的话，则晶闸管的触发只能通过光电耦合器或触发变压器进行隔离。前者所需的触发电流较大，要好几个毫安以上，后者成本高、电路复杂。

采用晶闸管直接控制电器交流

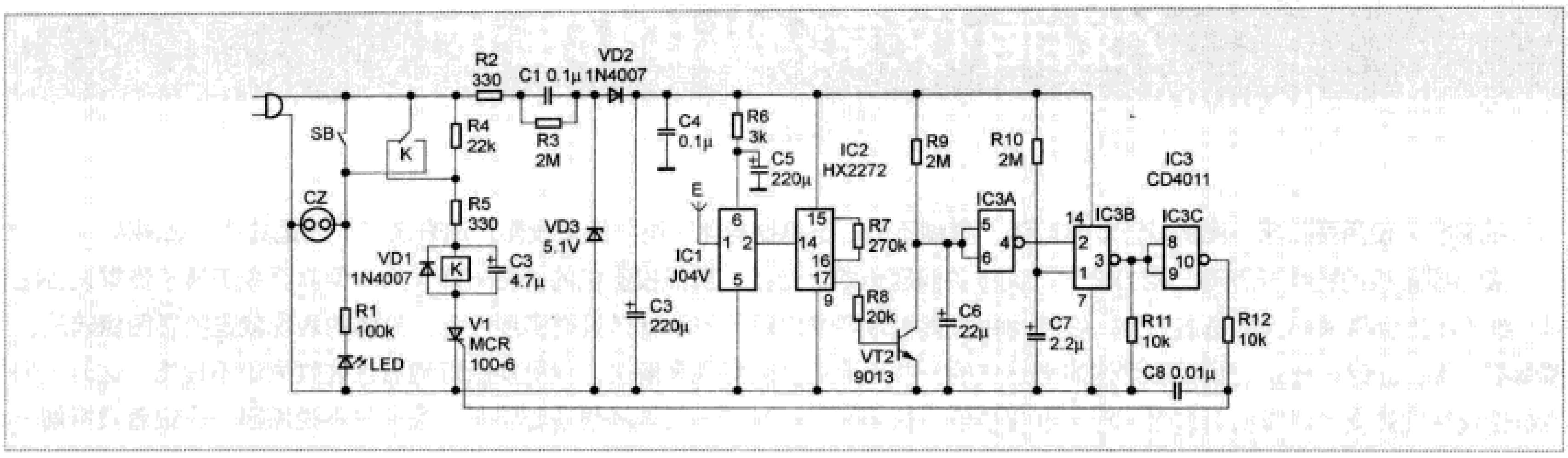


图4 接收控制电路

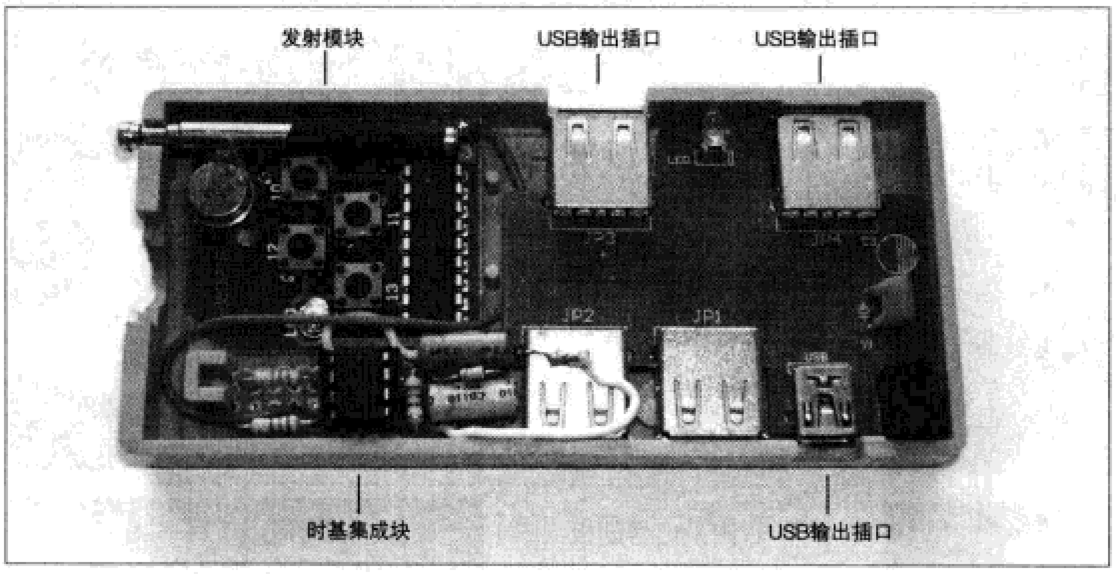


图5 发射电路实物

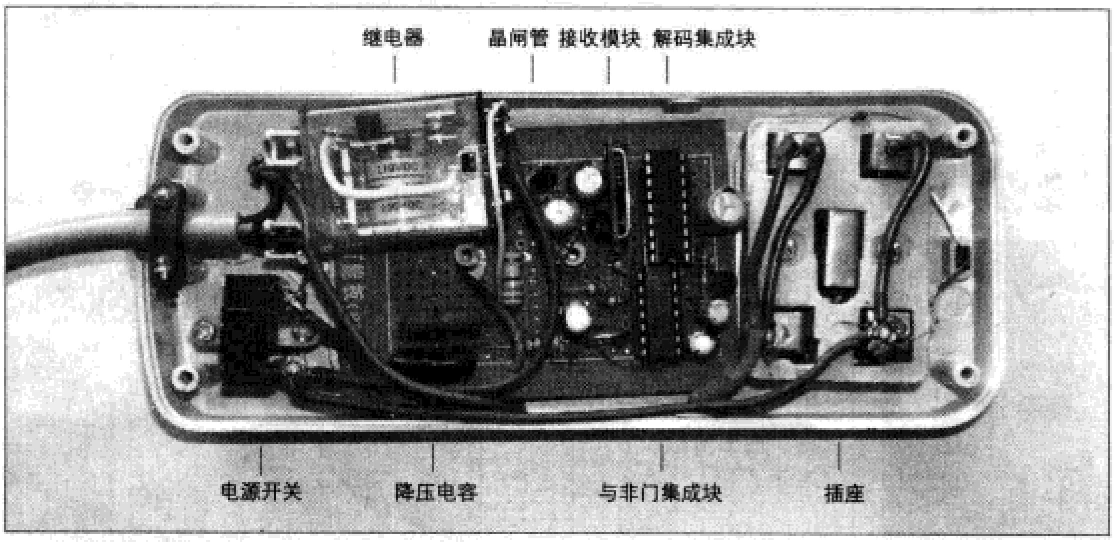


图7 接收控制电路实物

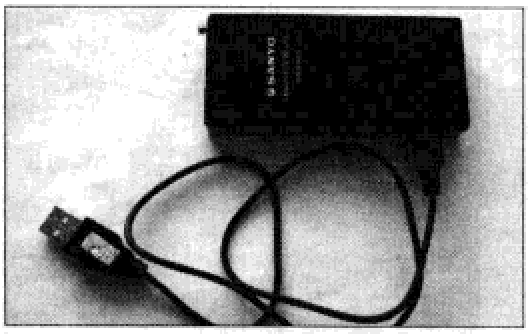


图6 发射电路外观

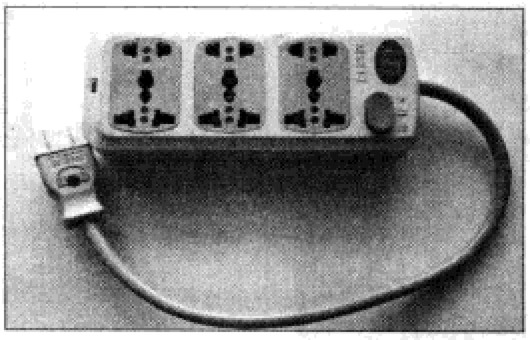


图8 接收控制电路外观

电源的方式，不适宜长期接在交流市电中，因为交流市电的波动和雷电会对晶闸管造成影响。对于需要长期接在交流市中的装置，还是采用继电器进行控制较为合适。当然后者体积更大，成本也高些。

利用继电器吸合后的保持电压比吸合电压小的特点，为降低继电器吸合后的功耗，延长其使用寿命，可以采用绕组串接电阻进行降压的方式。为了确保继电器吸合时电压正常，在普通直流电源中，只要在降压电阻两端并接一个电解电容即可。但此控制器中，加给继电器的是经过单向晶闸管半波整流后的脉动直流电，不宜采用在降压电阻上并接电容的方式，这里采用继电器的常闭触点进行控制，使用效果更佳。

时基集成电路555的3脚输出分为高电平的放出式和低电平的吸入式。放出式电流的极限值要比吸入式电流的极限值要小，特别是CMOS7555时基集成电路。另外，在同样的负载电流下，3脚输出高电平时的压降要比低电平时的压降大。在自身耗电方面，3脚输出高电平时的耗电量要比低电平时的小许多。例如在5V工作电压下，3脚输出高电平时，自身耗电电流约为1mA，而输出低电平时，自身耗电电流约为3mA。因此，这里控制采用了注入电流的方式。

液晶投影机的维护

◎华良云

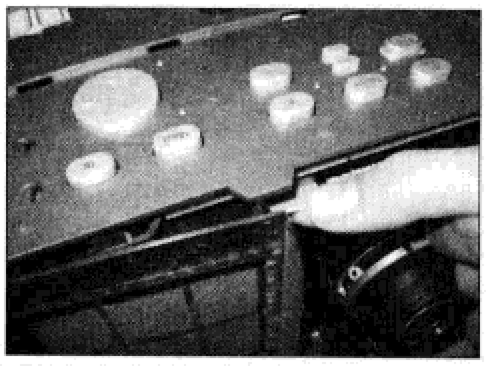
投影机才使用两三年，图像就已非常暗淡、模糊不清，是机器老化了吗？还是投影灯泡衰老了？还是其他什么原因……

液晶投影机的社会拥有量已相当庞大，其维护问题也随之产生。虽然投影机的价格一降再降，但其至今仍属于贵重设备之列，维护不当会带来很大的资源浪费。在使用中投影机最容易出现的问题就是投影亮度下降，具体的表现就是投影图像暗淡、模糊不清等。此时一般认为是投影灯泡衰老造成的，并采取更换新灯泡来解决，但更换新灯泡后往往效果仍不理想，这时人们的结论就往往转变为投影机已衰老，已无利用价值，该淘汰了。其实上面两种想法都错了，我们先不说原因，先跟着我拆解一台液晶投影机（不同品牌的液晶投影机结构原理基本相同，完全可以以点代面，现以飞利浦3132投影机为例），大家就自然明白了。

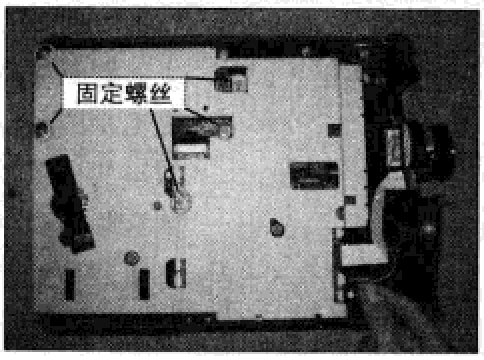
第一步：拆解液晶投影机

1 首先，卸下投影机的调焦环和变焦环，再卸下保护罩（以四手指为支点，大拇指向上扣）。

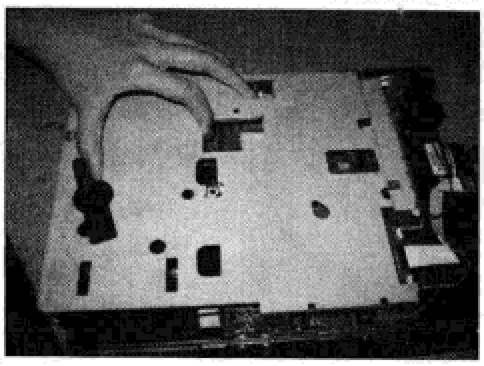
2 拔下机器顶盖与信号板的连接排线，卸下机器左右两侧的4个螺丝后，就可取下机器顶盖了。



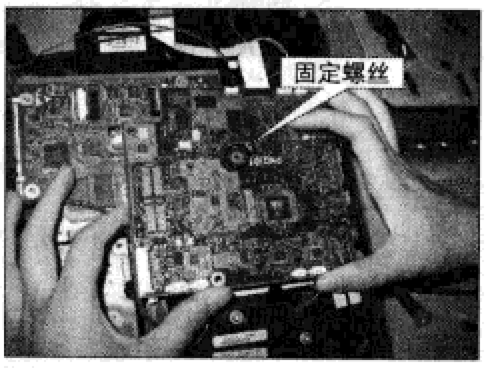
3 现在看到的是投影机屏蔽保护罩，先拔下信号板周围的各种连线（放心拔，每条连线的接头都不一样，再接回不会弄错的），再卸下如图所标出的几个固定屏蔽罩的螺丝。



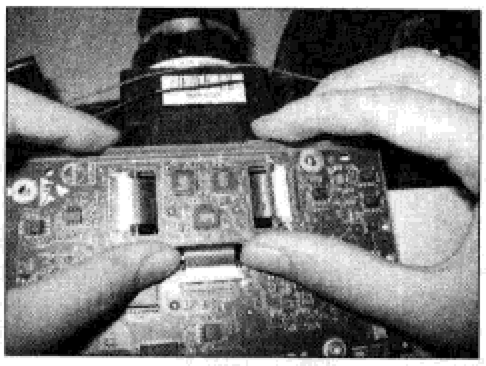
4 取下屏蔽保护罩，现在看到的是信号板（两块）。



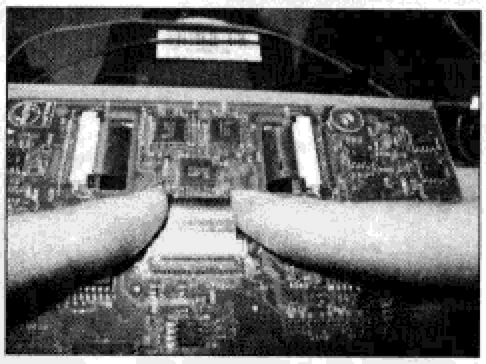
5 卸下图中标出的螺丝。两手配合上提，卸下主信号板。



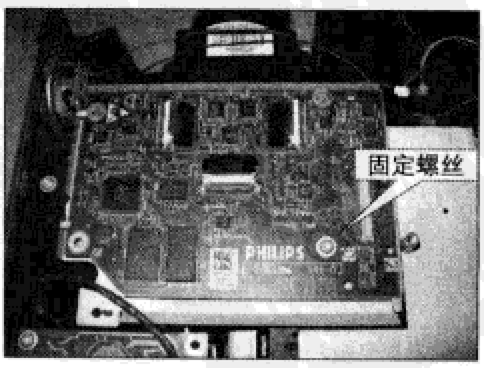
6 右图是信号副板，三条铜色排线连接红、绿、蓝三块液晶板（此处拆卸要格外小心细致），两拇指轻轻上推（行程2mm左右，注意阻力，不要过），移开排线插销。



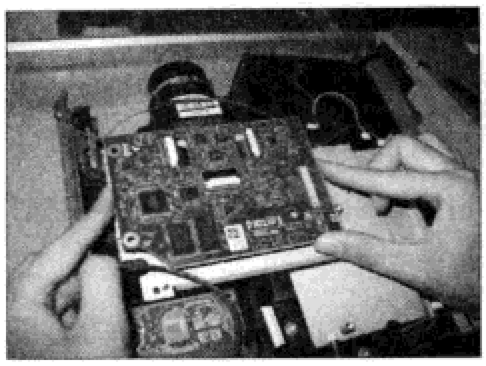
7 两手食指轻挤排线两侧，抽出排线。



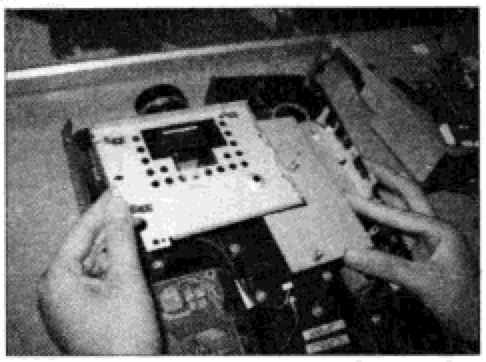
8 另外两条如法炮制，三条排线脱离信号板，再卸下信号板固定螺丝。



9 取下信号副板，下面看到的是信号板固定板，卸下固定螺丝。



10 取下固定板，到光路部分了。



11

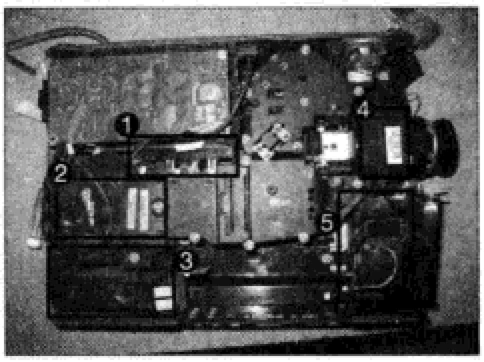
❶ 电源散热风扇

❷ 灯泡

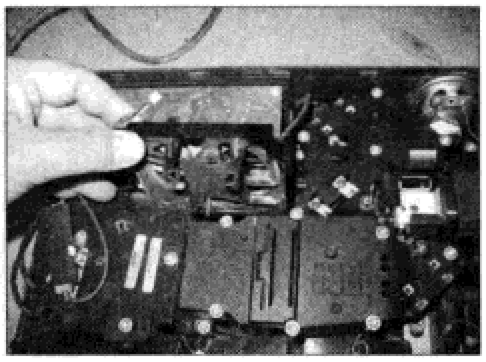
❸ 灯泡散热风扇

❹ 镜头

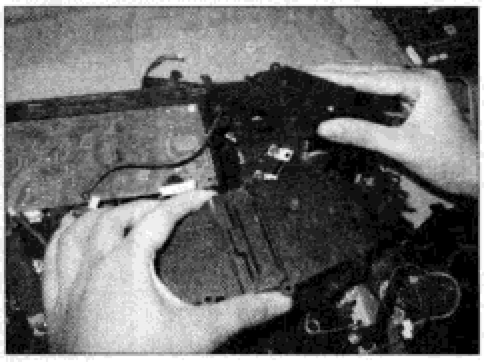
❺ 液晶板散热风扇



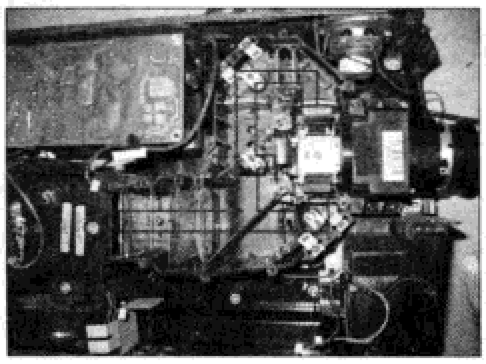
12 再看光路箱位置，三扇环绕，再加上箱体故意不封闭，光路的散热设计可谓煞费苦心。要打开光路箱须先取下电源散热风扇。



13 然后卸下光箱上盖的11个固定螺丝，打开光箱盖板（动作要轻柔，小心镜片）。



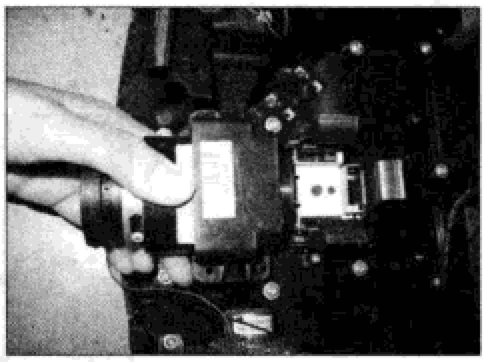
14 终于看到光路组件了（镜片多吧）。



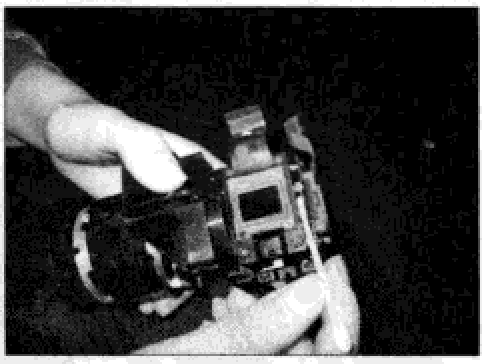
通过上图可以看出，投影灯泡发出的光线，要经过多个功能透镜，还要兵分三路才能照射到液晶板，再经过镜头的几组镜片才能汇聚成完整图像照射出去。据笔者统计，各种透镜累计近30个，今天我们不去研究其各自功能，总之，缺一不可。我们要注意的是灯泡发出的光线得穿越层层关卡“跋山涉水”才能走出镜头，在路途上有一片镜片脏污，透光能力下降，光线就会被削弱，就好像人的眼镜片脏了一样。最要命的是，如前面所言，光路箱被风力强劲的三扇环绕，并且为了各功能镜片散热，光箱故意不封闭，各镜片可谓身处风口浪尖，更何况投影机的工作环境情况又参差不齐，如果工作在飞尘较多的环境，镜片被染上灰尘就不可避免了。即使投影机工作在较洁净的环境，由于气流与镜片摩擦，静电不可避免，镜片带静电后自然吸附灰尘。因此，投影机工作时间久了，各功能镜片会被灰尘覆盖已是板上钉钉了。层层镜片都带灰尘，灯泡光线要过层层衰减才能到达屏幕，肯定损兵折将，结果一定是图像暗淡不清，且换新灯泡也一定不能解决问题。其实只要把镜片上的灰尘去除，机器会马上恢复青春。

第二步：维护机器（自然是除尘了）↓

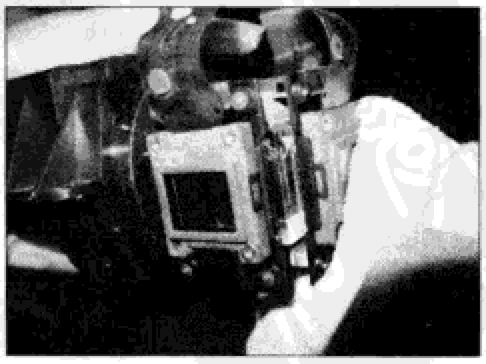
1 先卸下镜头组件，为镜头组件除尘要谨慎，镜头镜片间距离非常狭小。



2 用棉棒细心擦净各镜片灰尘（可先把棉棒头压扁）。



3 用鹿皮擦净晶板外侧。

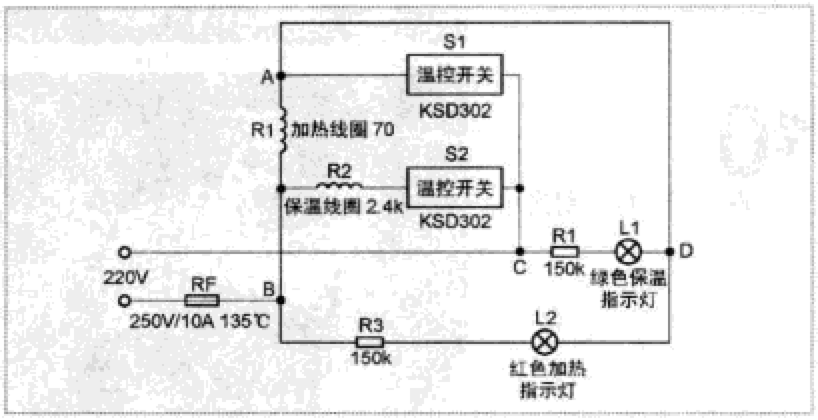


电热水壶 常见故障排除

◎梁明义

电热水壶具有高效、卫生、自动保温及携带方便等优点，其销售范围比较广泛，出现小毛病时，电子爱好者自己也可动手解决。

本文以威王牌电热水壶为例介绍其常见故障的检修方法。电热水壶的工作原理如附图所示。当不锈钢内胆加适量水后，接通电源，温控开关S1、S2冷态导通，加热线圈R1开始工作，保温线圈R2也同时工作。S1导通时，C、D两点形成短接，绿色保温指示灯L1不亮；而B、D两点电压与加热线圈R1两端（即A、B两点）相同，红色加热指示灯L2亮起。当水不断加热至沸腾状态时，温控开关S1及S2几乎同时断开，加热线圈R1及保温线圈R2均停止工作。因B、D两点通过加热线圈R1（70Ω）近乎短接，所以红色加热指示灯L2随S1的断开同步熄灭，而C、D两点间的电压瞬间升至约220V，绿色保温指示灯L1随S1的断开同步亮起。又因温控开关S2位于水胆的底部（水温相对其他位置偏低），当胆内水温下降至一定程度时，S2恢复导通（可听见很轻的“叭嗒”声），保温线圈R2又开始工作（功率约为20W），使水温上升，待水温升至一定值后，又断开，其后如此反反复复，胆内水温始终保持在一定值，从而达到保温效果，常见故障现象及排除方法如附表所示。

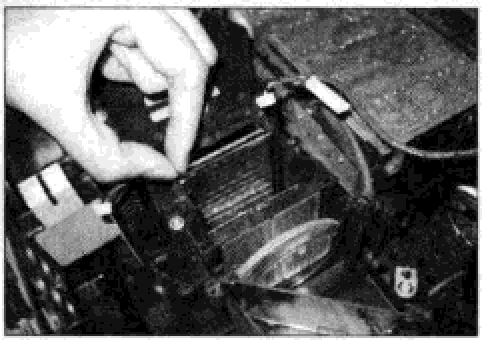


附表

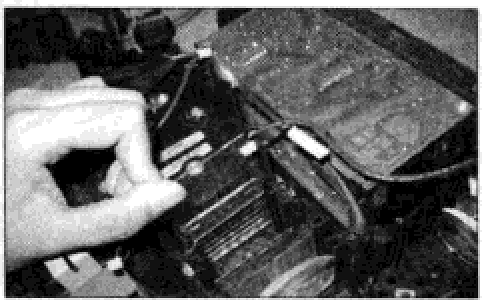
	常见故障	排除方法
1	两指示灯都不亮	基本为保险电阻RF过流熔断，需更换之。
2	加热指示灯不亮且无加热功能，保温指示灯常亮	常见为温控开关S1失效，冷态不能闭合，需更换之。
3	加热指示灯常亮但无加热功能，保温指示灯不亮	加热线圈R1断路，需更换之。
4	保温指示灯能亮，但无保温功能，不断重复加热	常见为温控开关S2失效，需更换之。

4 用鹿皮擦光路中镜片。

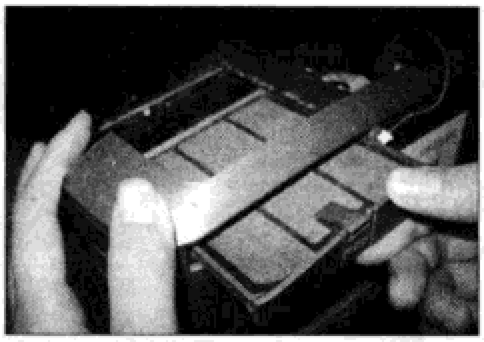
5 间距太近镜片，可拆下擦拭。下图为拔下镜片固定插片。



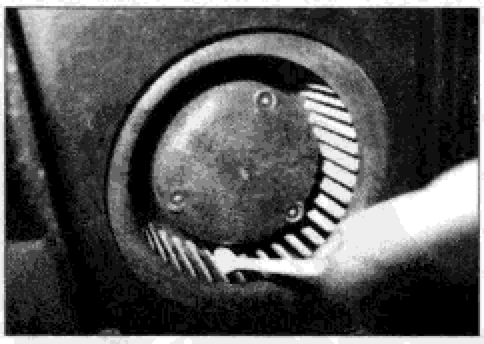
6 取出镜片，用鹿皮仔细擦拭。



7 其他镜片如法炮制，就除尘而言，除了要耐心细致，并无技术可言，只要打开光路，仔细观察，任务就是把各镜片擦净。最后卸下海绵滤尘网，用吹风机除尘。



8 海绵滤尘网下面是液晶板离心散热风扇，把扇叶上的灰尘用棉棒擦净。



等所有除尘工作结束后，将各器件按顺序装回，一台投影机就这样死而复生了，其投影图像的亮度和新机一样。

本文涉及的工具：六角改锥、六角套筒、棉棒、鹿皮、平头改锥、十字改锥。

Q&A 问与答

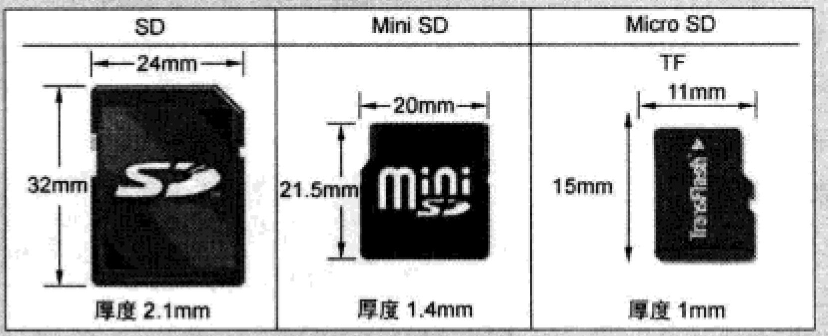
Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 现在许多MP3、MP4、上网本、数码相机等数码整机都具有记忆卡扩展插座，它们适应的记忆卡种类不尽相同，其中比较容易混淆的是SD卡、Micro SD卡、Mini SD卡和TF卡，不知TF卡是否就是Mini SD卡，这4种记忆卡的主要区别何在？能否互换使用？（吉林　刘世清等）

A TF卡不是Mini SD卡，而是Micro SD卡，它是3种记忆卡中体积最小的卡。这3种记忆卡的外形及主要尺寸示于下面的附图中。注意，标准SD卡有9个引脚（金手指），Mini SD卡有11个引脚，micro SD卡（TF卡）是8个引脚。虽然3种记忆卡的工作电压都为2.7~3.6V，但是因为尺寸和引脚不同，故而一般不能直接互换使用。不过现在已经有这方面的适配器（转换器）供应，可以通过适配器而互换使用，例如，TF卡可经TF－>SD转换器后，可当SD卡使用，Micro SD卡可经TF－> Mini SD转换器后，可当Mini SD卡使用等。

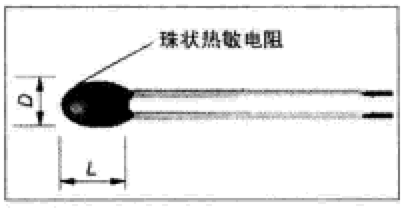


（王德沅）

Q 一支明月牌电子体温计最近突然不能测温了，液晶显示器指示始终不变，测量电池电量充足，接触也良好，据说这是热敏电阻损坏所致，不知电子体温计通常采用什么热敏电阻，如果损坏，能否自行调换修理？

（黑龙江　韦海胜）

A 一般接触式电子体温计大都采用专门的单片机和温度传感器等组成的。其中温度传感器大多采用微型珠状测温型负温度系数热敏电阻，其额定零功率电阻值为5~50kΩ（按品种不同而异），额定功率为3~5mW，珠状体的直径D为1~2mm，长度L为3~5mm，如上图所示。如果温度计可以拆卸，就可自行调换热敏电阻，注意要选择与原型号相同或类似特性的产品。不过，这种故障不一定是热敏电阻损坏所致，温度计进水、跌落等引起内部电路脱焊、漏电也可能造成类似的或其他故障，可拆卸后仔细检查之。



（王德沅）

Q 一台林内JZY-2MYX型双头燃气灶，其中右边的灶头点火不能维持，原来打着火以后约10秒松手即可，现在却要按住几十秒甚至1分钟以上才能松手，而且火焰还不一定能维持，使用中十分麻烦，这是什么原因？怎么解决？（浙江　俞金旭）

A 这种故障较常见，JZY-2MYX型燃气灶是具有熄火自动保护装置的产品，其保护装置主要由热电偶组件构成。点火时，热电偶组件的感应头被火焰加热，达到一定温度后，其产生的电压使气道中的阀门打开且保持，所以松手后火焰不灭。如果热电偶感应到的温度不足或其本身不良，那么火焰就不能保持。所以维修时主要检查热电偶是否受潮、位置变动或性能变差等。如果点火火焰能正常烧到热电偶，而且没有明显受潮或位置变动等情况，那么就是热电偶组件不良，只要更换组件即可。（王德沅）

Q 我家的一台长城电脑用了5年多一直很正常，近期一天突然发现电脑键盘上的2、3、W、E、S、D、X、C等多个按键同时失效，怎么按动也没有反应。怀疑是键盘和键盘电路之间的连接接触不良所致，但是经过拆卸、彻底清洗后故障依旧存在，检查薄膜线路的印制插头和相应的线路也没发现什么问题，这是何故？怎么排除？

（陕西　唐明等）

A 这种故障基本是薄膜印制线路相关按键的公共连接线路存在断路故障所致。维修时，可拆卸键盘，取出薄膜印制电路板，仔细检查与2、3、W、E、S、D、X、C等多个按键连接的公共线路，找到断路点，用导电胶涂覆，直至修复通断点为止，然后待导电胶干后即可重新安装好键盘使用了。注意，有的薄膜线路断点很难发现，必要时可用万用表R×10挡或蜂鸣挡进行检查。（王德沅）

Q 一款采用瑞芯微RK2706主芯片的欧珀S9型MP4播放器，因以前设置了开机密码，但是后来却忘记了，现在开机需要输入密码，否则无法正常使用。曾经重新刷新固件，但是开机密码并没有被解除，不知怎么办？

（河北　顾俊等）

A 对此问题，通常有两种解决方法：一是使用公用密码（59595959），但是每次开机都要输入密码，比较麻烦。二是找到一个同型号但没设置密码的播放器，把里面的固件拷贝出来，再把拷贝的固件放到欲解除密码机系统盘里，然后连接电脑，升级固件后即可使用。提取固件的软件可上网搜索。据实践表明，一般采用RK2706的播放器都可适用上述方法，这类播放器的固件提取还是比较容易实现的，成功率较高。（王德沅）

“四步曲”替换路由器电源

◎张国华　刘克铜

一、病入膏肓

在上网兴趣正浓时，突然上不去了，pingDNS，不通，又ping网关，还是不通。赶紧查找故障，发现交换机没有问题，但路由器的风扇没有动静不转了，再看路由器的电源指示灯也不亮了，而此时其他设备均在正常工作，估计是路由器的电源损坏了。这台路由器的型号是CISCO2801，于2007年购入，应急之下，只好用另一台路由器临时顶替一下。

二、求医问药

先找售后解决吧，赶快打电话联系售后，结果售后说出质保了，没办法维修。联系思科售后，答复是找经销商联系。经销商先让把路由器拿过去看看，等了十几天后，经销商回复说电源坏了，不能维修。顿时我心里拔凉拔凉地。这款路由器可是花了8000多元买的，即使现在至少也得6000多元才能买下来。

此时只能自己动手医治了，死马当活马医吧。拆开一看，电源个头也不大，做工不错，型号为ASTEC AA22230-A（图1），拆开电源，发现控制模块烧焦了。当我看到铭牌上的“PRODUCT OF CHINA 中国生产”时不禁暗暗高兴，心想中国制造，肯定能在中国买到，如果我能找到这款电源的话，直接买来一个换上不就行了吗，太省事了……马上以迅雷不及掩耳之势在网上查到ASTEC在中国代理的联系方法，但客服人员的回复是：此款电源是专门定做的，不对外销售。我不甘心，又找了一个专门销售电源的大公司，回答也是库存中没有此型号。

从网上搜索的结果来看，国内基本上没有卖这款电源，国外有卖此款电源的，图片上也标明的是“PRODUCT OF CHINA 中国生产”，可是要价100美元，如果加上运费，算上时间，太不划算了。我一直在想，要是在国内有人卖此款电源该多好啊。在网上还发现印度也有一个和我一样倒霉的家伙，他的这一款路由器的电源也烧了，也在寻求帮助，同是天涯沦落人啊！

从铭牌上看，最大功率105W，四组电压分别是3.3V、5V、12V、-12V（图2）。如果再买一个这样4组电压的开关电源，也能解决问题，于是我上网淘宝，找到了一个有这4组电压的电源，询问的结果是此款电源无现货，需交订金定做，时间至少得一个月，价钱为800元人民币，而且尺寸也是固定的，比这款原装电源高度要高出1cm，也不一定能顺利装上去。我心里刚刚升起来的希望就这样变成肥皂泡了。

三、望闻问切

在寻求无果的情况下，发扬“自力更生，艰苦奋斗”的精神，对这款电源进行仔细地观察。

该电源接口为24PIN（图3），颜色分别为红色、黄色、灰色、橙色、黑色。看到这个接口，我脑子里突然灵光一现，想到电脑的ATX电源，ATX电源一般也有这几组电压，能不能代替呢？可惜的是在电源铭牌上没有标明颜色和电压的对应关系，如果再有一台同样的路由器，就可以拆开测量一下各引脚的电压，那样也就不用猜了……我从幻想中回到现实中，24pin ATX电源针脚定义如表1所示。

但此电源好像不符合ATX电源的颜

图1 ASTEC AA22230-A电源

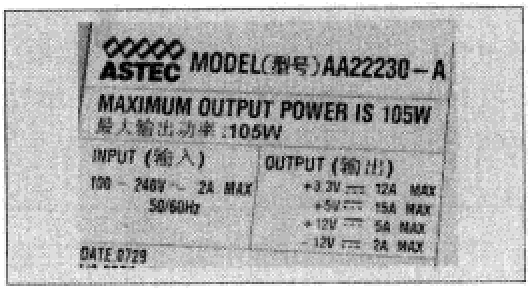


图2 电源铭牌

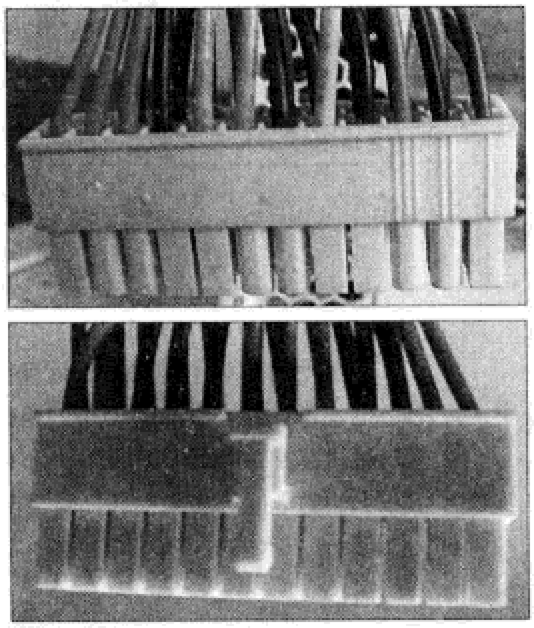


图3 电源接口

色规范。ATX电源中没有棕色线，且此电源中黄色线只有一条，根据黄色线的粗细来看，最大电流应该为2~3A。如其电压为+12V，则其电流肯定达不到所标注的5A。

看来要摒弃ATX电源的颜色，重新来判断。颜色一致的一般电压也相同（经用万用表测量后确定同颜色线为同一电压），黑色线一般为GND。如

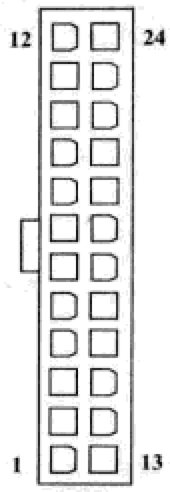


表1 24pin ATX电源针脚定义

针脚	名称	颜色	针脚	名称	颜色
1	3.3V	橙	13	3.3V	橙
2	3.3V	橙	14	-12V	蓝
3	COM	黑	15	COM	黑
4	5V	红	16	/PS_ON	绿
5	COM	黑	17	COM	黑
6	5V	红	18	COM	黑
7	COM	黑	19	COM	黑
8	PWR_OK	灰	20	-5V	白
9	5VSB	紫	21	+5V	红
10	12V	黄	22	+5V	红
11	12V	黄	23	+5V	红
12	3.3V	橙	24	COM	黑

果根据功率来猜的话：黑线有9条，数量最多，应为GND（COM）。其次是红线，有6根，电流最大，应该为5V。黄线1根，电流最小，应该为-12V。棕线4根，应该为+3.3V；橙线2根，应该为12V。根据观察，初步判断结果如表2所示。估计可不等于真实。“望”完后还得需要“切”一下，经过实际验证方能进行下一步。

一边观察电路板（图4），一边准备好万用表，将挡位调到二极管（蜂鸣）挡，进行如下检查。

1. 先找GND（COM）：用一支表笔接黑线端子，另一支表笔接金属外壳，万用表“嘀嘀”响起来，说明导通，另外还看到黑线和大面积的铺铜相连，由此确定黑色线为GND。

2. 确定+12V：在风扇上看到有三条线，黑、红、白，另标有“12V DC”。一般白色线为温控线，受CPU控制。风扇电源的黑线和刚才测得的黑线也是导通的。风扇电源的红色线应为+12V，用万用表测量后发现电源上的橙色线与此导通，风扇电源的红色线与电源的红色线不导通，说明24PIN电源上的红色线不是+12V。

3. 确定+3.3V：继续查找电路板上显著的芯片，终于发现了几个内存芯片，型号为Qimonda HYB39-S256160D（图5），通过查找其数据手册，其引脚的第1、14、27为电源端，供电电压为3.3V。用一个表笔接在

表2 初步判断结果

颜色	条数	功率	初步判断电压值
黑	9		GND
红	6	最大	+5V
棕	4		+3.3V
橙	2		12V
黄	1	最小	-12V

内存芯片的第1个引脚，另一支表笔在电源接口处依次接触测量，终于听到万用表的“嘀嘀”声。查看后发现与此+3.3V相连的为棕色线。

4. 确定-12V：接着在电路板上查找，在电源接口附近发现一个电解电容（图6），它的正极和GND连接，负极和黄线连接。据此可确定与其相连的黄线为-12V。

5. 确定+5V：还剩+5V电压没有测出来，只剩红色线了，利用排除法也可以确定红色线就是+5V了。基于安全还是需要找依据，查到红色线和元件PI5C3245Q的20脚相连，查PI5C3245Q的数据手册，该元件为一个8位2端口的总线开关（图7），20脚为电源端，供电电压为-0.7-7.0V，由此可以确定红线上电压为5V。最终测量出电源上各条线电压和开始的判断值一致，各引脚电压如图8所示。

四、对症下药

下一步就是对其“下药”治疗了。找到一款航嘉HUNTKEY电源，该电源功率有300W，唯一的缺点就是电源体积大了点，只能把电源线引出来，除-12V功率稍小外，其他电压均绰绰有余，就用它了！

买一条24PIN的电源接头，接到CISCO主板上，将各个电压分组，作上标记，将各个电压接到ATX电源对应的电压上，套上热缩管，焊接好，通电，风扇欢快地转起来，接上互联网，一切正常。

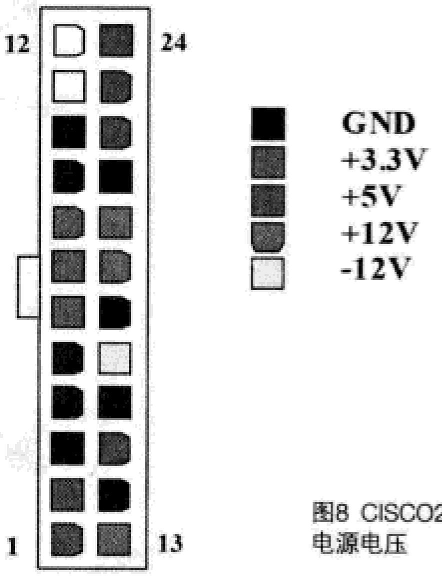


图8 CISCO2801 电源电压

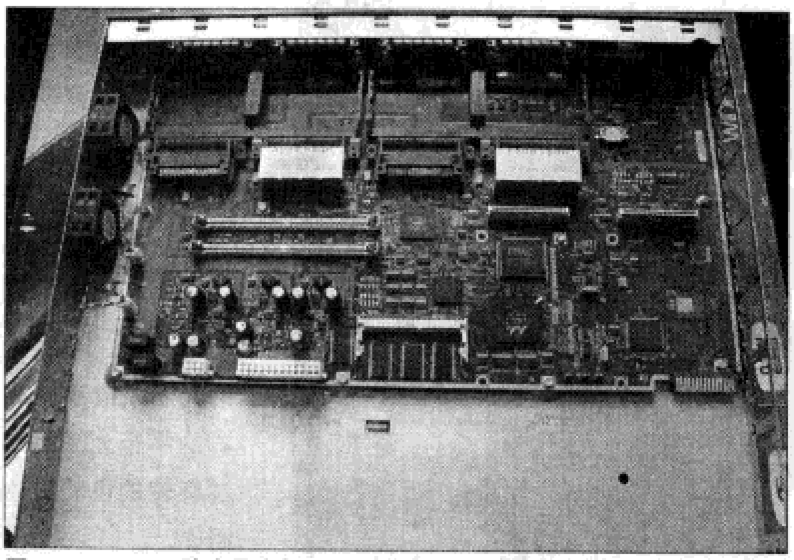


图4 CISCO2801路由器内部

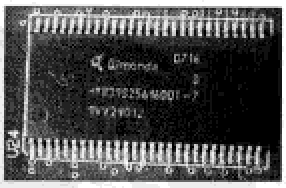


图5 内存芯片

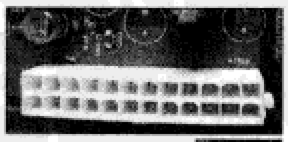


图6 电解电容

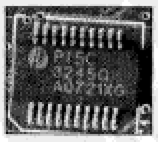
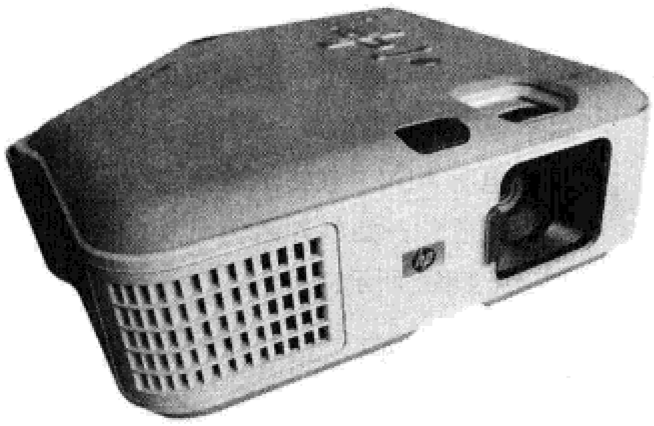


图7 总线开关



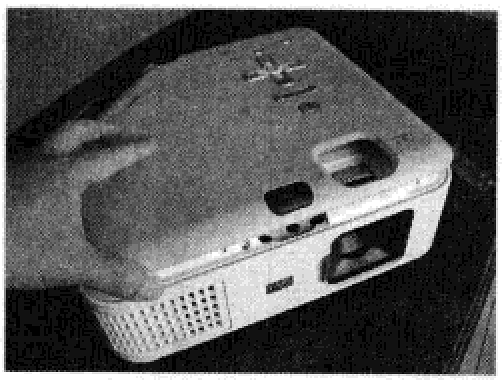
DLP（数码）投影机的拆卸和维护

◎华良云

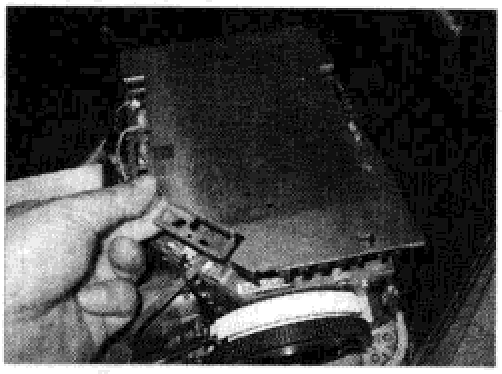
DLP（数码）投影机是投影机家族的后起之秀，现已占据了投影机市场的半壁江山，今天以HP6315型投影机为例，演示一下DLP投影机的拆卸和维护过程。

第一步：拆卸

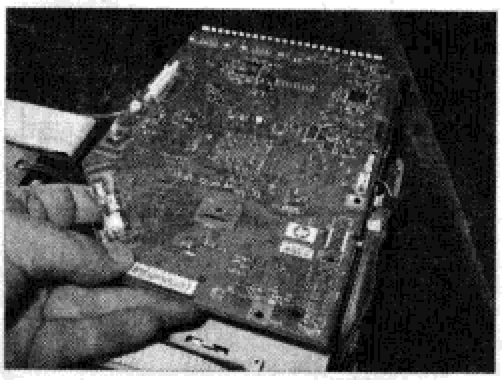
1 首先取下投影机顶盖（用平头改锥轻撬顶盖四周，脱开顶盖卡扣）。



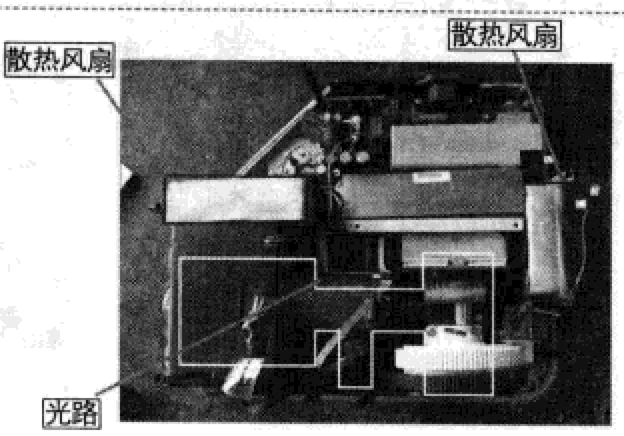
2 卸下五颗长杆螺丝，打开投影机上盖。脱开各种排线，卸下几个固定螺丝后取下屏蔽板。



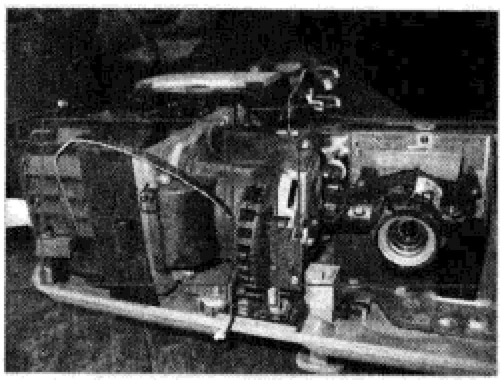
3 卸下信号主板。



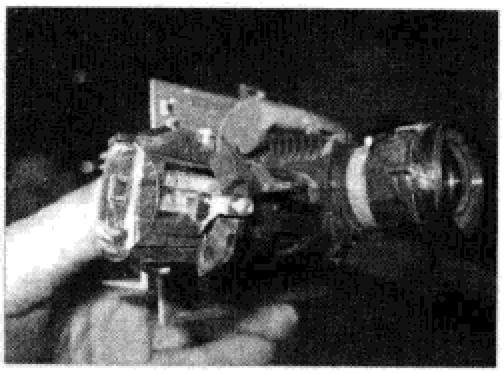
4 卸下固定板。



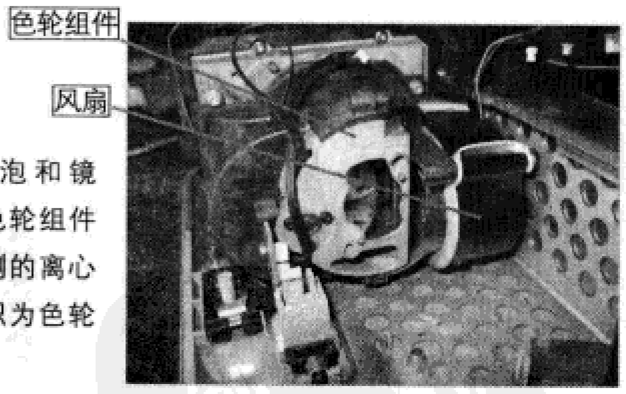
5 右图为光路的侧视图。



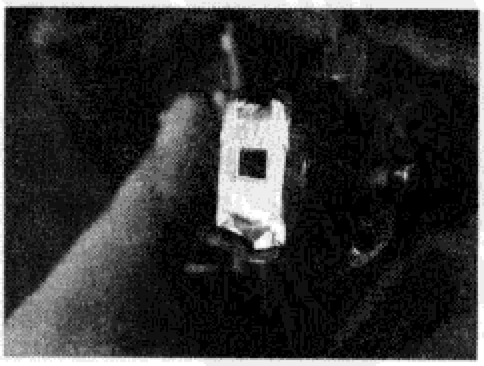
6 卸下镜头组件。



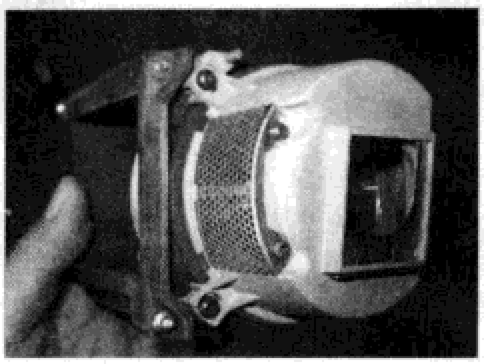
7 右图为灯泡和镜头组件之间的色轮组件（注意色轮右侧的离心散热风扇，专职为色轮散热）。



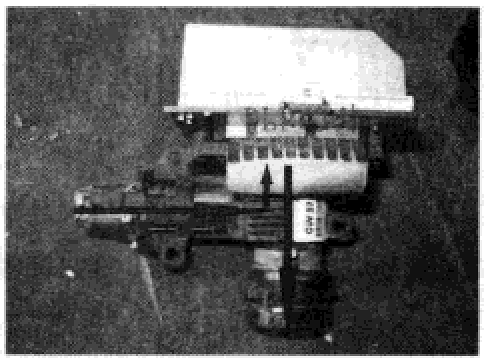
8 灯泡工作时，发出的光汇聚成直径3mm左右的平行光束射出，透过旋转的色轮进入镜头组件。



9 右图是镜头组件的进光孔，它是由四块平面镜围成的“光管”，用来提高光束方向性。



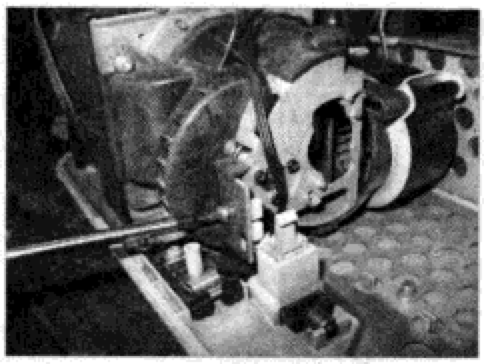
10 从右图可以看出：光束在光路内经过整理汇聚，通过组件内部的反射镜反射，照射到DLP芯片上，经过DLP芯片的反射，带有图像信息的光线，通过镜头射出。



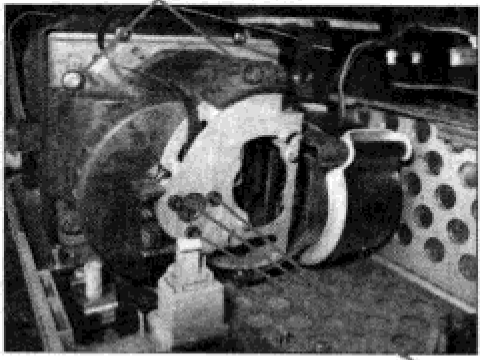
通过拆卸发现，DLP投影机的光路也不是封闭的，尤其是色轮。由于工作时有高温强光照射，因此配备了风力强劲的专职散热风扇，在高速气流的吹拂下，色轮玻璃也会产生静电灰尘，灰尘又在高温光束的作用下，会牢牢地附着在色轮上，使色轮透光率大打折扣。另外，实践发现，镜头组件的光路部分也不是封闭的，各个镜片也常是布满灰尘，尤其是靠近色轮的“光管”，受污最为严重。由此看来，DLP投影机同样需要定期除尘维护。

第二步：维护

1 首先卸下色轮电机测速模块。

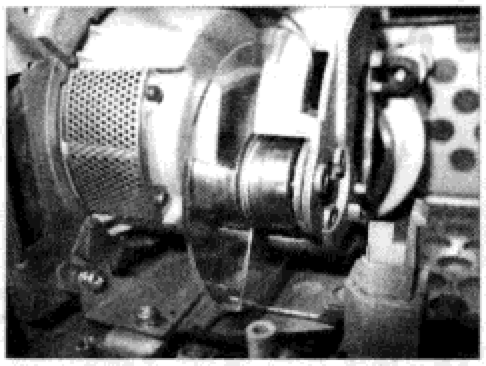


2 卸下色轮电机固定螺丝和色轮保护罩固定螺丝。

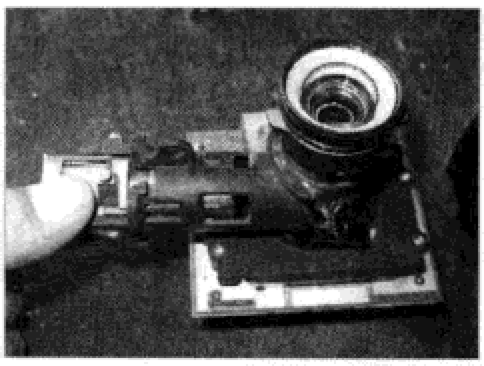


3 轻轻取下色轮保护罩（动作要特别小心，千万不能损坏色轮玻璃）。

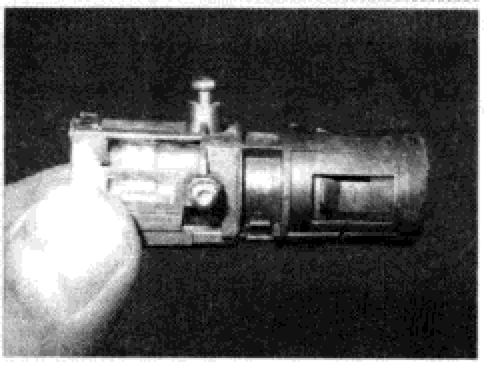
小心取出色轮组件。



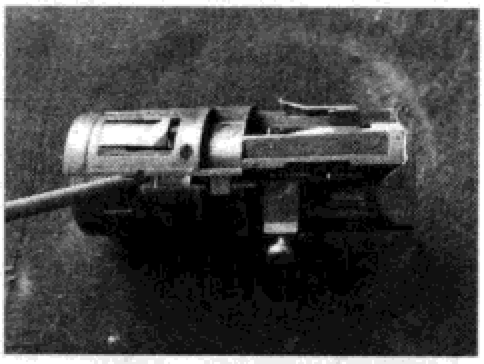
4 用鹿皮把色轮玻璃擦拭干净（再嘱咐一遍，动作要轻柔，色轮由四片玻璃拼合而成，很脆弱的），清理完毕后，反顺序装回色轮组件。抽出镜头组件的光路部分。



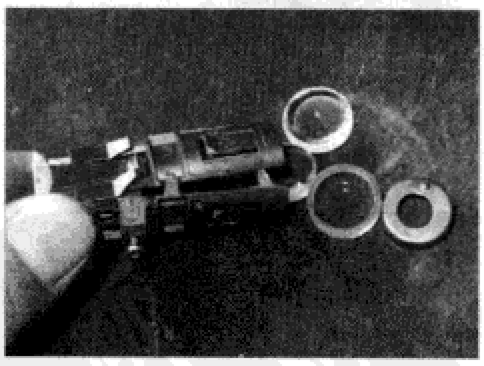
5 DLP投影机的光路很小巧，注意：两个螺丝不能动，那是调节光路方向的，出厂前已调好了。



6 撬开光路器件固定架的一端（脱开两个卡扣），注意观察并牢记各透镜的位置和方向。

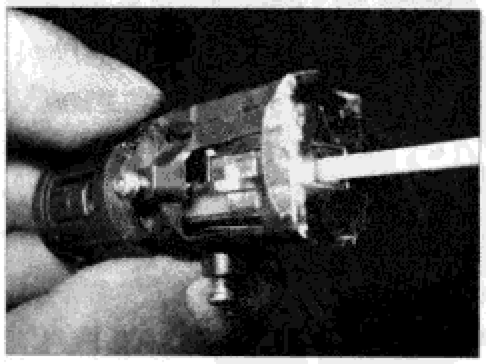


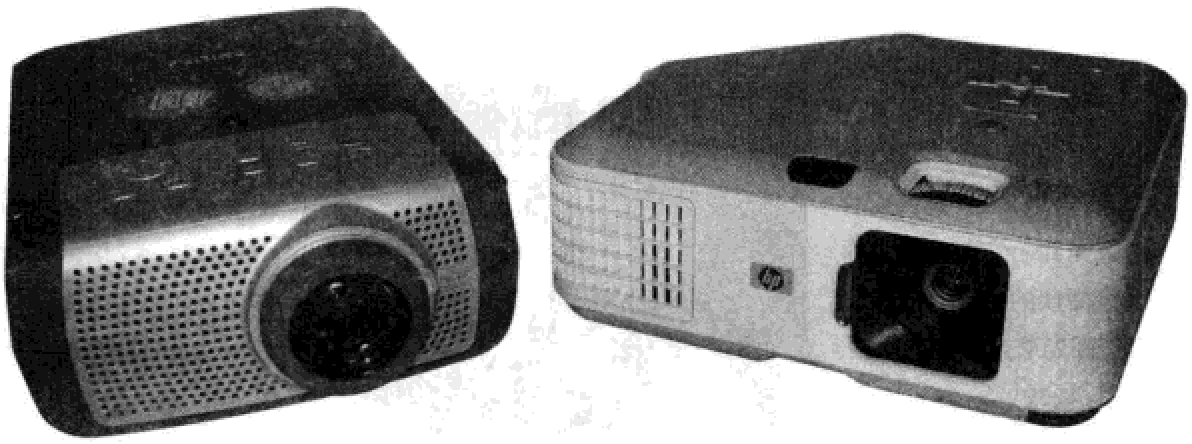
7 如右图所示倒出各透镜，分别用鹿皮擦拭干净，



8 再用棉棒抽动擦拭，清理光管。

至此，清理工作结束，下面就是回装机器，通电测试，不再赘述。Ⓦ





◎华良云

维修员浅析
液晶投影机和DLP投影机的特点

随着人们住房条件的改善，人们在自己家中安装投影机、组装家庭影院已经不是可望不可求的事了。目前在市场上可以看到有液晶投影机和DLP（数码）投影机，在这两者之间选购哪种好已成为大家关心的话题。作为维修员，这两种投影机我都接触过，并拆卸过，本文将自己的源于实践的见解介绍给大家，谨供参考。

两种投影机的成像过程

液晶投影机的投影图像是由投影灯泡发出的光线，通过光路中各种透镜、折射镜、反射镜的调整，分三路透过三块液晶板后汇聚而成的。DLP投影机的投影图像是由投影灯泡发出的光线，透过一个旋转的色轮，经过光路的汇聚和调整，再经一块DLP成像芯片反射后汇聚而成的。

要说区别，就是液晶投影机的红、绿、蓝三色图像是由三块液晶板各自独立形成的，三色图像时时存在，在屏幕上混合后形成彩色图像。而DLP投影机的三色图像是DLP成像芯片独自配合色轮完成的，也就是说，是按照时间顺序，数码机分别投出红、绿、蓝三色图像，靠人眼的视觉暂留作用，感受到彩色图像的。

两种投影机的光路结构

液晶投影机的光路复杂，镜片多，不封闭。

数码机光路简单，小巧，封闭性较好，但多一个旋转的色轮。

建议：液晶投影和DLP投影应该说各有千秋，不能武断地断定孰优孰劣。选用哪种技术的投影机，关键看你的用途。如果强调展示彩色图像，那一定要选液晶投影机。如果追求图像的亮度和对比度，那就考虑一下DLP投影机。笔者认为，决定投影机优劣的不是哪种技术，而应该是该机配备的投影灯泡的亮度和使用寿命，如果灯泡亮度明显下降或使用寿命短，那无论采用什么技术的投影机都无济于事。因此，建议购买机器时，应把更多的精力放在探讨投影灯泡亮度、使用寿命和价格上，我认为这是消费者不可忽视的问题。

两种投影机的优缺点

液晶投影机的优点是图像彩色还原度比较好，投影图像彩色鲜艳、逼真，适合展示彩色图像，缺点是投影灯泡发出的光线在传递过程中损耗大，光源利用率低，尤其是光路器件受到灰尘污染后，现象更为明显。

DLP投影机的优点是图像亮度、对比度方面比较好，因为DLP投影机的四色色轮（色轮由红、绿、蓝、无色透明四块90°扇形玻璃拼接而成）和简单小巧的光路设计，有效降低了光线在传递过程中的损耗。尤其是在投影灯泡发出的光通过色轮的无色透明玻璃部分时，几乎没有什么损失，由此显著地提高了投影图像的亮度。另外，DLP投影机的光路简单，镜片少，比液晶投影机封闭的要好些，因此使用过程中受灰尘的影响程度比液晶投影机轻。它的缺点是在表现图像彩色的饱和度、还原度等方面确实差强人意，无法和液晶投影机相比，并且工作时需要一个高速旋转的色轮，因此DLP投影机在可靠性上也不如液晶投影机。

两种投影机的共同点

第一、两种投影机的光路都不封闭，因此在使用过程中，光路都会受到灰尘污染，不管使用哪种技术的投影机，及时维护是必不可少的。

第二、两种投影机都离不开关键部件投影灯泡。现阶段，投影灯泡种类繁多，寿命一般在2000~6000小时，且价格都比较昂贵，动辄几千元一只，因此灯泡是投影机使用过程中的最大耗材。

问与答

提问指南

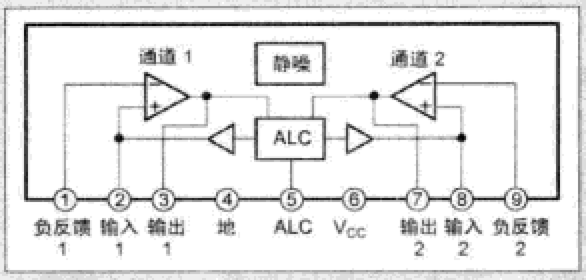
读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 在维修实践中我遇到了一些问题，现在需要了解集成电路CHMC D22241的各个引脚的功能，希望贵刊能够帮助解决。

（上海　黄德扬）

A D22241 是带 ALC 功能的低噪声“双”前置均衡放大线性集成电路，采用 SIP9 封装。其输入端不需耦合电容，ALC 控制电路简洁，外围元件少，还内置了电源“静噪”电路。主要性能为：噪声 V_N=1.0μV（典型值）；开环电压增益 80dB（典型值）；电源电压范围为 4.5~14V，最大 16V；最大功耗 550mW。D22241 的内电路框图和各个引脚功能如附图所示。（王德沅）



Q 有一台36V电动自行车充电器中的开关电源驱动集成电路UC3842坏了，更换一片同样型号的集成块，开机不久就被烧坏，再换了一次又是这样，不敢再换。经测量发现，UC3842损坏的特征都是7脚对地被击穿，这是什么原因？怎么解决？

（浙江　田正兴等）

A UC3842是美国Unltmde公司生产的电流控制型脉宽调制(PWM)芯片，由于性能优良，因而应用广泛。如果芯片本身质量可靠，那么有可能是电路设计不良造成这种故障。UC3842的7脚为供电端。为简化供电电路，大都由蓄电池电压降压后再稳压供电，电压多为18V左右。从你提供的电路图来看，7脚外围没设置稳压管，芯片易受电源的开关尖峰电压冲击而使7脚内电路击穿。所以可外接一个18V稳压管，同时必须连接100~200μF的滤波电容，这样就可解决问题。同时需提醒的是，实践中因芯片（包括LM3842等同类品）质量不好而被烧坏的情况也时有发生，因此必须购买正牌优质产品。

（王德沅）

Q 一款多功能数码像框中的电源芯片TQ8008损坏，用一片相同型号的集成电路代换后，电路不能工作，测量其3脚输出电压为1.2V，而正常应是2.0V左右，检查其外围电路和元器件都没发现异常，这是何故？该集成块的各个引脚功能如何？能否用别的芯片代换？

（内蒙古　朱新根等）

A TQ8008是一款高效率、低电压、小封装的PWM DC/DC变换器，主要参数：输入电压为2.5~5.5V，最大电流为600mA，输出电压为1.5V、1.8V、3.3V和可调型多种，同类可互换品种有：TQ8009、RT8008、RT8009等。其1脚为“使能端”，高电平有效；2脚接地；3脚输出端；4脚为输入端；5脚是反馈端。对输出可调型品种，在5脚、3脚间和5脚对地各接一个电阻，调整电阻的比值可改变输出电压大小。所以，如果采用固定输出电压的品种（型号尾缀常有电压值标注），要注意是否用错品种。倘若所用的是可调型品种（型号尾缀有ADJ），就要检查5脚和3脚外接的分压电阻、印制电路板，看其是否有变值、脱焊或漏电等症状，对症处理后一般可排除故障。

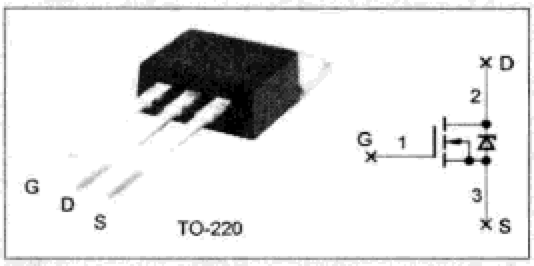
（王德沅）

Q 一台开关稳压电源中的场效应管VTI630被击穿损坏，想更换新件，但根本购不到这种管子，上网搜索也查不到有关资料，不知这种器件是哪家公司的产品？是什么类型的场效应管？主要性能参数和引脚功能如何？能否用其他管子代换？

（山西　蔡敏）

A VTI630是我国台湾威鑫科技公司（Valenstek Inc.）的MOSFET（绝缘栅型场效应管）功率管，主要应用于显示器、开关电源、DC/DC变换器和UPS等电子装置中。其主要参数如下：最大漏源电压V_{DS}=200V、最大漏极电流I_D=10A、总耗散功率P_{TOT}=72W（T_C = 25°C），漏源通态电阻R_{DS}<0.4Ω。该管的引脚功能如附图所示。如果购不到VTI630，可用容易购买的同类产品如IRF630、CS630等直接代换。

（王德沅）



Q 有一个3个引脚的电子器件，型号为 SM3381，请教别人，有的说是光电耦合模块，也有说是调频接收模块，不知究竟是什么器件？望帮助解答。

（云南　苗旺成等）

A 光电耦合模块和调频接收模块一般都不可能只有3个引脚。根据型号及提供的情况看，你们的SM3381基本可确定为“士兰微”电子公司生产的红外遥控接收头，它曾广泛应用于各种牌号的彩色电视机中。现在许多电子产品中都应用了各种各样的红外接收头，其中有将红外接收管与放大电路集成在一起的一体化产品，如SFH506-38、RPM-638等，其体积很小，外形如一个中功率三极管般大小，初次遇到容易误认，进行电子制作和维修时应注意，不要搞错了。

（王德沅）

楼宇对讲门铃的维修

◎于永泉

目前很多的高层住宅都使用了对讲门铃了，在频繁使用中，门铃会出现一些小毛病，本文从对讲门铃的基本原理入手，介绍其常见故障的检修方法。

工作原理

楼宇对讲门铃系统采用较多的分立元件，电路比较复杂，但如果有了原理图，维修操作就容易了。图1所示的是主电路，图2所示的是户外按键与照明电路，图3所示的是室内话机部分。

由电路图可以看出，变压器产生的低压经桥式整流、电容滤波、三端稳压块7812产生的+12V由插座V1引入，直接供给继电器K，另一路经VD3隔离，产生V_{CC}供给其他电路。

当户外有人按下S1时（按S1~S10按键都一样，本文以S1为例），插座V6的1脚信号经S1、话机开关SA的2、3脚、扬声器LB到地，形成电流通路，相当于把R17下端接地，故VT5的基极为低电平，VT5饱和，音乐IC的2脚有触发高电平，故3脚有音乐信号输出，经IC1（LM386）放大后，由IC1的5脚输出，经V6的1脚、S1、话机开关SA的2、3脚送到扬声器LB，发出声音。由于话机开关SA的特殊结构，该音频信号还可耦合至话机开关SA的4脚，再经插座V3的2脚耦合至IC2（TDA2822M）的7脚，放大后由1脚输出，使按门铃者可以听到从LB1发出的声音。

当屋内主人听到LB发出的声音后，摘下话机，屋内与楼外的两人就可以通话。MIC1拾取的声音信号送入IC2的6脚，放大后由3脚输出，再经插座V3的1脚、话机上的电容C3、话机开关SA的1、3脚，耦合到扬声器LB，主人可听到对方的说话声。V_{CC}经主电路的R5降压后，再经插座V3的2脚给室内话机的MIC2和VT1供电。主人的说话信号经MIC2拾取、VT1放大后，又经话机开关SA的4、6脚、插座V3的2脚送至IC2的7脚，放大后由1脚输出，推动扬声器LB1发声，从而实现两人的通话。

主人摘下话机后，插座 V6 的 1 脚到地的通路就切断了，R17 下端恢复了高电平，VT5 截止，音乐 IC 和 IC1 都停止工作。

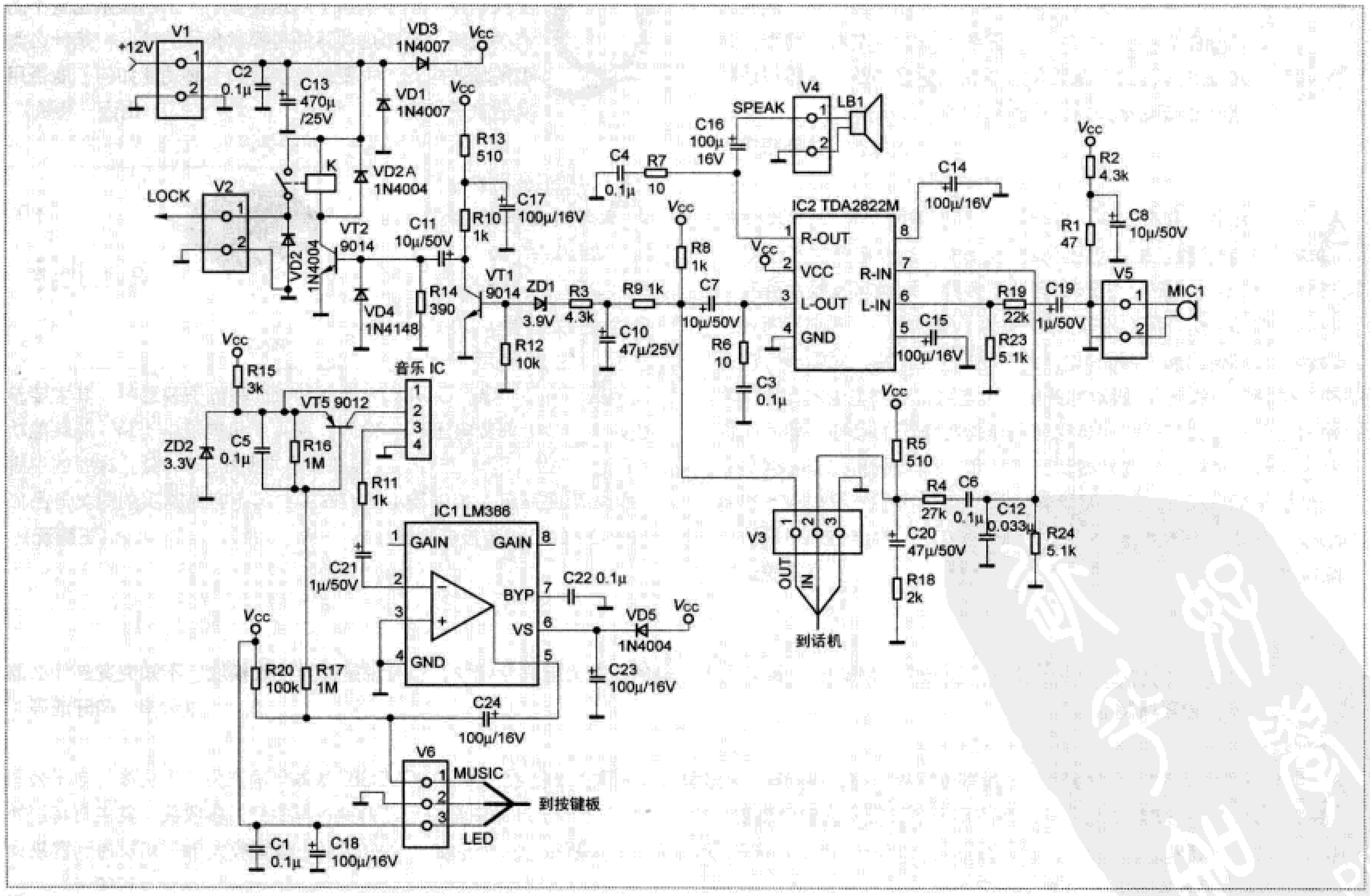


图1

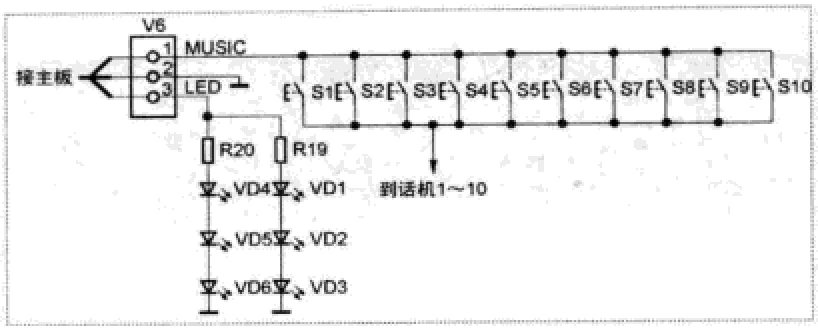


图2

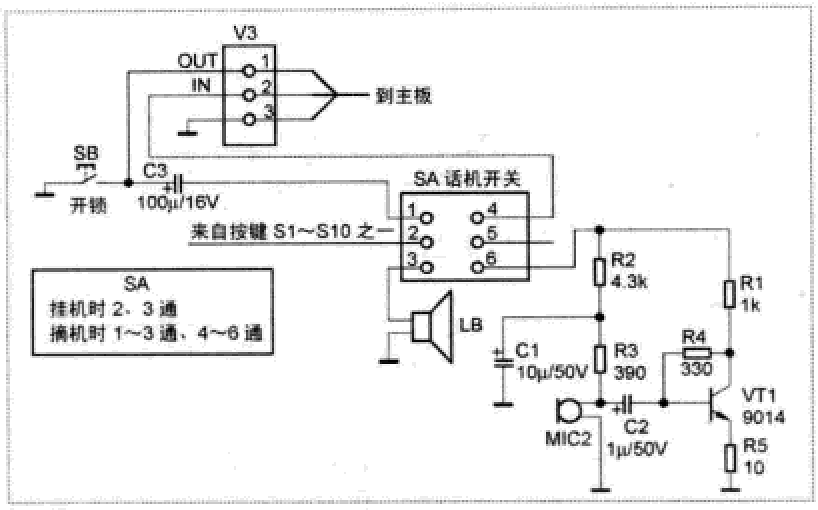


图3

插座V3的1脚由于开锁开关SB的断开，通常是高电平，稳压管ZD1处于截止状态，此时VT1饱和、VT2截止、继电器K不吸合。当主人按下开锁开关SB后，V3的1脚接地，ZD1正向导通，VT1截止，VT1集电极的高电平经C11耦合到VT2基极，VT2饱和，继电器K得电，触点闭合，电磁锁LOCK得电动作，楼宇门打开。

维修经验

1. 按下S1~S10中的任何一键，若能听到门铃声，说明VT5、音乐IC和IC1工作基本正常。双方能通话，说明IC2和室内话机工作基本正常。

2. 插座V3的1脚正常时是高电位，1脚对地短接时，应能听到继电器K的吸合声，说明开锁电路是正常的。

3. 该系统供电较低，故障率并不高。其中的电磁锁使用频繁，故易损坏。若能听到继电器K的吸合声，但电磁锁不动作，可认定电磁锁损坏。

4. 由于震动频繁，主电路易发生开焊的故障。

5. 当出现故障时，首先应查供电部分。由于各部分接口标注清晰，可把主板、按键板、话机摘下来维修，一般容易找到故障原因。

故障实例

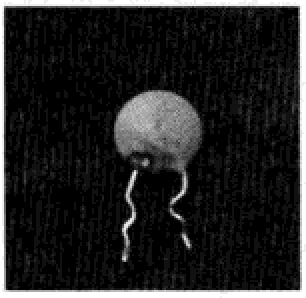
例1 无门铃声，按下开锁开关SB，却听不到继电器的吸合声。经检查是ZD2击穿，换新件后，故障排除。

例2 不能进行对讲功能，经查是IC2（TDA2822M）损坏，换新件后不久又损坏。再次深入检查，发现V_{CC}达16V，超过TDA2822M的最大供电电压（15V），原来是电源板的7812击穿了，估计是过热造成的损坏，换新件后，加大散热片，故障彻底排除。

惊险检修显示器屡炸保险管故障

◎田国勇

这天用完电脑之后，点击“关闭”，计算机正常关机。随着主机的自动关闭，显示器也处于无信号待机状态，此时正要拔下电源插头，忽听得显示器内部“啪”的一声异响，显示器的电源指示灯灭了，怎么回事？再次开机，屏幕不亮了，显示器的指示灯也不亮了，但感觉主机工作正常，可以从音箱中听到开机的声音，看来是显示器出了故障。



关闭主机，拔下电源插头，打开显示器的外壳，先检查电源部分，发现保险管已经炸裂，心想，这可能是关机时有较大的脉冲电流，使保险管损坏。于是更换了保险管。重新通电开机，结果不仅听到了爆裂声，还看到了闪光——保险管又炸了！本人惊出一身冷汗，暗想还好这不是手雷。看来是电源部分有严重的短路。于是先检查了变压器，无烧黑冒烟，说明变压器是正常的。再检查整流二极管，人什么时候都不能嫌麻烦，可是我就犯了这个毛病，我只检查了一组的两个整流二极管，而忽略了另一组。巧的是，检查的这一组都正常，这时又查看了滤波电容，外观也正常。用万用表检测显示充放电也基本正常，是不是消磁电路出了问题？于是断开消磁电路，重新又换上保险管，惊险再次重演，保险管又炸了，说明不是消磁线圈的故障。怎么回事？想起一句歌词：“从头再来”。这次断开了两组二极管，发现了一组全部击穿，心中暗自得意：这下找到了故障所在，更换整流二极管，再次通电，惊险仍然重演。这次不光看到保险管炸，而且还看到大的滤波电容旁出现了少量的烟尘。仔细检查大的滤波电容的周围，在它旁边发现一个小电容出现损坏，引脚的一端出现了一个小坑（见附图）。这次本人痛下决心，更换了损坏的小电容，也捎带着把大滤波电容一起更换掉，重新换上仅剩下的一个保险管，战战兢兢地通电，这次奇迹出现了，一切正常了，显示器被成功修复。

小结： 这次惊险的检修经历说明，在判断电源部分出了问题后，就应该认真地把电源部分的所有元件进行检查，不能怕麻烦，否则会多走弯路，多浪费配件。还有，就是要特别注意维修安全，提防元件的突然爆裂。

冠捷液晶彩显电源电路的检修

◎孙唯真

冠捷AOC LM540型液晶彩显电源电路以SG6841为核心构成，这种电源还在冠捷AOC LM923、冠捷AOC LM925、冠捷AOC LM927U、翰宇P170、宏基Acer AL1713、华硕MM19S、联想LXB-L15C等型号的液晶彩显中使用，为此，本文以该款电源为例介绍其维修方法。

一、SG6841介绍

SG6841是崇贸科技公司推出的具有绿色工作模式的电源控制集成块，负责产生开关脉冲（PWM脉冲），完成稳压控制及各种保护等任务。该器件可用于打印机、液晶彩显、电源适配器等场合。SG6841内部结构如图1所示，它具有绿色工作模式（10kHz）、启动电流低（30μA）、稳压范围宽（适应90～264V的交流电源）等特点。

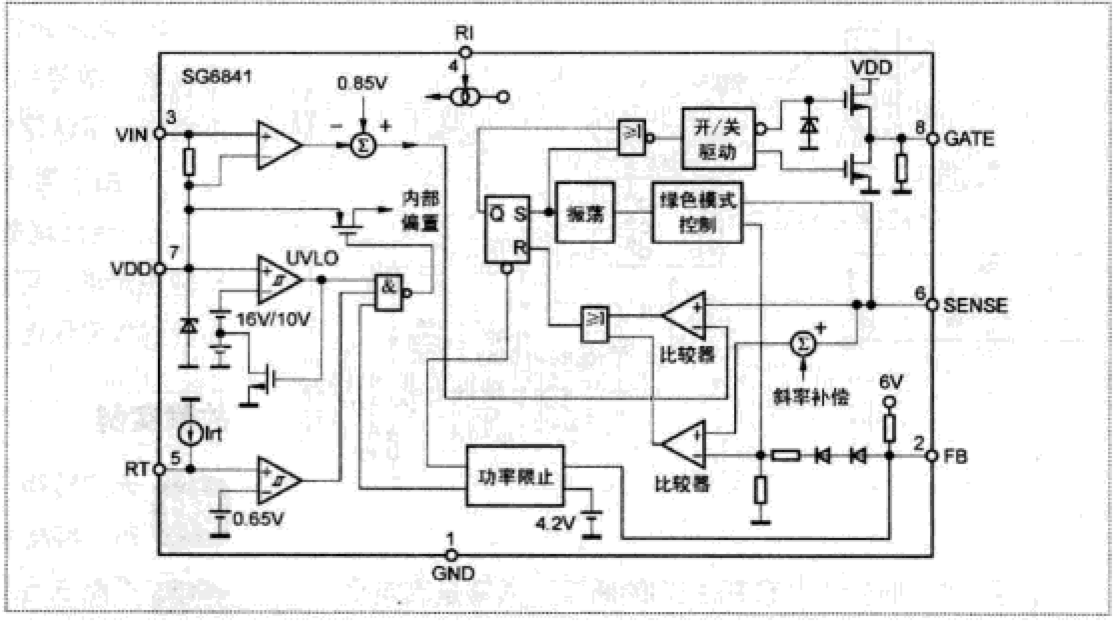


图1

二、电路分析

由SG6841构成的电源电路如图2所示，图中标有“NC”的元件在实际电路中未装。

1. 启动过程

220V交流市电经保险管F901、负温度系数热敏电阻NR901、互感滤波器L902后，送至桥式整流电路BD901， 经BD901整流、C905滤波，在C905上建立起300V左右的直流电压。该电压由R906、R907送至SG6841的3脚，由于3脚外部接有VD904、VZD905等元件，故3脚电压最高能达到20V左右。3脚电压经内部电阻对7脚外部电容（C907和C908）充电，使7脚电压上升，当7脚电压达到16V时，内部电路启动，并从8脚输出开关脉冲，开关管VT903也进入开关工作状态。电路工作后，开关变压器L2绕组上的脉冲电压经R908限流、VD902整流，C907、C908滤波后，获得12V左右的直流电压提供给7脚，作为SG6841的供电电压。

SG6841具有绿色工作模式，其运行频率随输出功率的增大而增大（即随负载增大而增大），最后达到设置值（本电路为70kHz左右）。在待机时，由于轻载运行，内部控制器会使振荡器的振荡频率很低（10kHz左右），此时电源工作于绿色模式下，其功耗在0.5W左右。按压面板上的开/关键时，整机转为工作状态，电源负载提高，电源脱离绿色工作模式，转为正常工作模式，此时振荡频率不受绿色模式控制器的控制，频率提高至设置值。两种状态之间的转换是依靠2脚、6脚电压和内部电路来完成的。

2. 各路电压输出过程

电路工作后，开关变压器初级绕组（L1绕组）上会不断产生脉冲电压，各次级绕组也会感应出脉冲电压。L4绕组上的脉冲电压经VD912整流，C925、L904、C926滤波后，得到+5V的直流电压，该电压分成两路经接插件CN102送至主板，给主板供电。

L3绕组与L4绕组串联，输出的脉冲电压经VD910整流，C922、L903、C924滤波后，得到+12V直流电压，一方面给逆变器供电，另一方面经接插件CN102送至主板，给主板供电。

3. 稳压过程

该电源是通过调整开关脉冲的占空比来实现稳压控制的，稳压主取样点设在+5V输出端，辅助取样点设在+12V输出端。当某种原因（如电网

电压上升，负载变轻等）引起各路输出电压上升时，+5V电压也必上升，经R925、R926分压后，送至IC903（THL431）控制脚的电压也上升，从而使IC903导通加强，IC902中的发光二极管和光电三极管导通也增强，SG6841的2脚电压下降，经内部电路调节后，其8脚输出的脉冲宽度变窄（占空比减小），开关管VT903饱和时间缩短，开关变压器初级储存的能量下降，向次级释放的能量也自然下降，各路输出电压也下降。当某种原因引起各路输出电压下降时，则稳压过程与上述相反。

当只设主取样点时，+5V电压约为6.2V，+12V电压约为15V，当主取样点和辅助取样点同时存在时，+5V和+12V输出才正常。

事实上，当 +12V 和 +5V 分别超过 12.2V 和 5.1V 时，VZD902、VZD903、R927 等元件也会参与稳压作用，以加大稳压环路的调节力度，提高稳压精度。

4. 保护过程

（1）开关管防击穿保护

开关变压器的初级绕组上接有反峰吸收网络，由VD901、C906和R903组成。当开关管截止的瞬间，初级绕组产生下正、上负的反峰电压，该电压与C905上的300V电压叠加后作用于开关管的漏—源之间，很容易击穿开关管。使用反峰吸收网络后，能使初级绕组上的反峰脉冲经反峰吸收网络而释放，从而有效地保护了开关管。

（2）过流保护

当某种原因（如负载过重等）引起开关管VT903的电流增大时，VT903源极电压（由R919检测）也必升高。该电压送至SG6841的6脚，只要6脚电压达到0.85V，并持续150ns时，内部过流保护电路动作，使8脚提前输出低电平，VT903提前截止，从而有效抑制电流的进一步上升。若6脚电压达到1V时，则8脚停止脉冲输出，电源停止工作，以实现过流保护。

（3）欠压保护

欠压保护是由SG6841的7脚内部电路来完成的。开机后，C907被充电，若C907上的电压不能达到16V，说明市电太低，SG6841不会工作，处于欠压保护状态。

一旦电路工作后，7脚电压只需维持在10～16V即可。如果某种原因使得C907两端电压下降至10V以下时，SG6841的8脚就立即停止脉冲的输出，进入欠压保护状态。

（4）过压保护

当稳压环路开路，各路输出电压会大幅上升时，此时SG6841的2脚电压也会上升，只要2脚电压达到4.2V，且持续31ms时，8脚就会停止脉冲输出，实现过压保护功能。

VT901和VT902接成正反馈形式（相当于一个单向晶闸管），用于SG6841供电过压保护。SG6841的7脚供电电压应小于20V，否则就有损坏的危险。当某种原因（如稳压环路故障）引起7脚电压超过20V时，VZD901导通，进而使VT902也导通，随即VT901也导通，于是两管形成强烈的正反馈作用，结果使VT901和VT902飞快饱和。由于VT902的饱和，使得SG6841的4脚钳位在低电平（1V以下），故8脚停止脉冲输出，电源停止工作，这样就保护了SG6841免受高供电电压的冲击而损坏。

（5）过热保护

SG6841的5脚外部可接负温度系数热敏电阻，以将温度的变化转换为电压的变化，当5脚电压下降至0.65V时，8脚输出的脉冲宽度将会减小，以降低电路的功耗。当5脚电压下降至0.62V时，8脚就会停止脉冲输出，实现过热保护。

三、关键检测点

该电源有一个目击检测点和三个关键检测点。

1. 目击检测点

保险管F901是目击检测点，通过观察或测量F901是否烧断，可以判断故障的性质。当F901烧断时，说明电源中有短路故障存在，短路部位一般发生在整流桥堆（BD901）、滤波电容C905或开关管VT903。

2. 第一关键检测点

C905上的电压是第一关键检测点，通过检测此点电压可以判断故障部位。例如：当电源不工作时，若测得C905上的电压为0V，说明故障在交流输入电路或整流电路上。若C905上有300V电压，说明故障部位在C905之后的电路中。

3. 第二关键检测点

SG6841的7脚是第二关键检测点，当电源不工作时，通过测量该点电压可以缩小故障部位。例如：通电后，若7脚电压达不到16V，说明电路不振荡是因启动电压过低引起的，故障部位一般在3脚及7脚的外部电路或内部电路。当该脚电压大幅度摆动时，说明电路进入保护状态。

4. 第三关键检测点

SG6841的4脚是第三关键检测点。若该脚低于1V，说明VT901和VT902导通而使电路进入保护状态。

四、常见故障的检修

1. 电源不起振（输出电压为0V，且SG6841各脚电压均无波动现象）

电源启动必须满足三个条件，一是C905上要有300V电压，二是

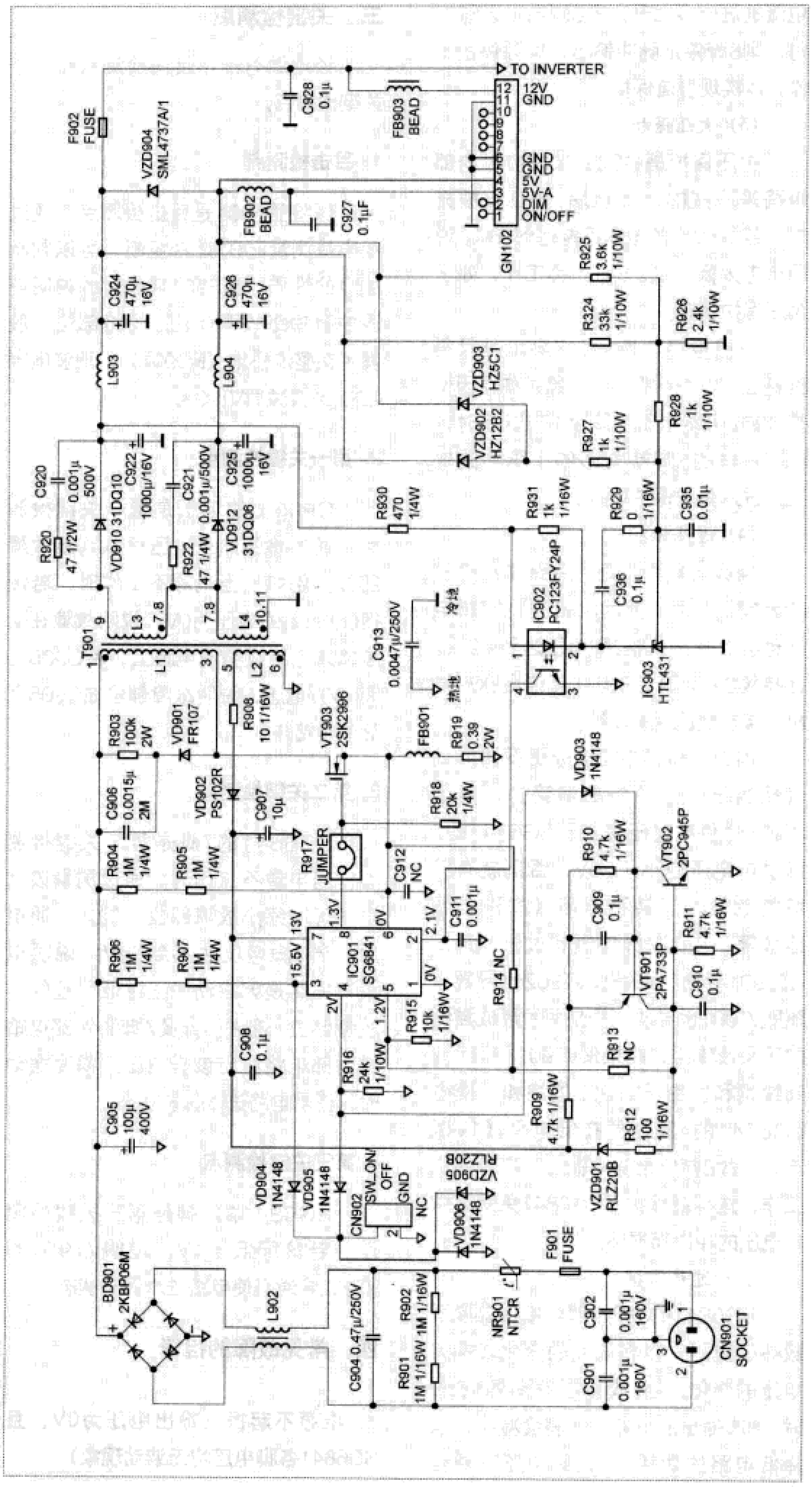


图2

SG6841的7脚要有16V启动电压；三是SG6841的4脚电压必须明显高于1V。

可先测C905上的电压，若为0V，说明交流进线中有断路现象。

若C905上的电压正常，则测SG6841的3脚电压，若3脚电压为0V，查R906和R907是否开路，以及VD906、VZD905是否击穿。

若3脚电压正常（17～20V），则查7脚电压。若7脚电压为0V，应查7脚外部元件（C907、C908、VD902）有无击穿现象。若无击穿现象，说明SG6841损坏。若7脚电压低于16V，说明启动电压太低，应查7脚外部元件（C907、C908、VD902）有无漏电现象。若无漏电现象，说明SG6841损坏。若7脚电压在16V以上，则查4脚电压。若4脚电压在1V以上，说明SG6841内部电路有问题，若4脚电压低于1V，应查4 脚外部元件。

2. 输出电压波动

出现这种现象，说明保护电路动作，此时，除了输出电压波动外，SG6841的大部分引脚电压也波动。检修这种故障时，应先判断是何种保护电路动作，方法如下：

（1）如断开 F902 后，输出电压不再波动，说明 12V 电源有过流现象，应对 12V 负载进行检查。

（2）如断开 L904 后，输出电压不再波动，说明 5V 电源有过流现象，应对 5V 负载进行检查。

（3）如断开 F902 和 L904 后，输出电压仍波动，则应对 VD902、R908 进行检查。若无问题，说明稳压环路有故障。

值得一提的是，SG6841非常娇嫩，易被静电损坏，维修时应引起重视。另外，SG6841可与SG5841直接代换。

PDG

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 最近看了多篇有关应用FU-29功率管的发烧音响文章，被其优良的性能所吸引，于是购买了FU-29来组装，后来却被其管帽连接难住了，好的管帽套价格昂贵，甚至要100多元一个，比FU-29还贵许多。如果用廉价产品，据说很易产生氧化而导致接触不良，影响发烧效果，不知能否直接焊接，有没有其他解决办法？

（陕西　谭钢等）

A 如果对外观没什么要求，可以采用焊接方法，只是拆卸时麻烦些。还有，焊接时应注意电烙铁不可过热，要确保焊接牢靠安全。若采用管帽套连接，可找一个大小合适的管帽套,如常见的旁热式双二极管－五极管6B8P等的管帽套，内嵌一个能正好套住FU-29屏极的铜质套管就行了，当然套管上需要焊接或铆上连接线。铜质套管可以自行制作，也可用现成合适的电子电气插座经改制后使用，这类插座往往镀银或金，实际使用效果更好些。　（王德沅）

Q 有两台电磁炉的IGBT损坏，其中一台的IGBT型号是BUP304，该读者称当地只能购到GT50T101，不知其参数如何？是否内带阻尼二极管，能否代换？另一台松下电磁炉的IGBT型号是GT50T101，但是这位读者所在地没有这种管子，问能否用常见的FGA25N120代换？

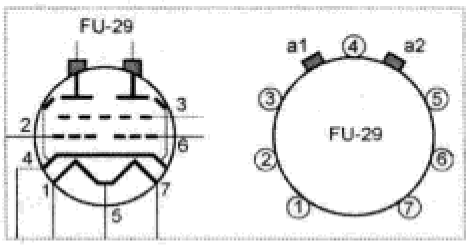
（云南　张敏　广西　莘进光）

A GT50T101可直接代换BUP304。BUP304是西门子产品，其最大工作电流I_C为35A，最大工作电压V_{CES}为1000V，GT50T10的I_C为50A，V_{CES}为1500V。两者都是不带阻尼二极管的，如果原机阻尼二极管没损坏，代换时不需处理。对于后一问题，FGA25N120的V_{CES}为1200V，I_C为25A。比起GT50T101，V_{CES}小了300V，对大多数电磁炉问题不大，但是I_C小太多，所以一般不适宜代换。GT50T101是东芝产品，现在已经停产，所以在有的地方不易购到，但是通过网购或邮购还是较易买到的。　（王德沅）

Q 我们想采用复合功率管FU-29来组装一台发烧音响，但对FU-29的管脚功能有些疑问。查看了许多资料和报刊，发现管脚的3、4脚标示不一样，有的标示3脚为阴极、4脚为帘栅极，而有的标示却是4脚为阴极、3脚为帘栅极，不知以何为准？另外，如何识别其管脚排列？

（浙江　叶元儿等）

A FU-29是“双束射”四极功率电子管，内含两只相同的束射管，具有屏极电压高（最大750V）、屏极电流大、放大线性好、饱和压降小和“跨导”高等特点。FU-29输出功率可达44W，比KT88略小，而价格却远低于KT88，所以FU-29是“胆机玩家”甚为青睐的电子管。FU-29的4脚为阴极、3脚为帘栅极，其管座中间的大孔对应第4脚，具体如附图所示。　（王德沅）



Q 新购一款三星250G-5V 0.8A移动硬盘，将它与电脑USB插口连接后，电脑不能找到移动磁盘,无论是插入前置USB插口还是后置USB插口都一样，有时能找到移动硬盘了，但却无法拷贝文件，重启电脑也无用，可是该硬盘在朋友家的电脑上却完全正常可用，这是什么原因？怎么解决？　（四川　茅一飞）

A 这种故障大都是电脑USB插口供电不足造成的。电脑USB标准插口一般能提供0.5A的电流，要带动三星5V 0.8A 移动硬盘显然是不够的。但是移动硬盘的待机电流明显小于动态负载电流，如所述三星移动硬盘的待机电流为300~400mA，所以有时能出现移动硬盘，但不能正常工作。由于一般功率较大的移动硬盘都有两个USB插口，除了一个主插口外，另一个辅助插口是给硬盘提供补充电力的，所以，只要将辅助插口也与电脑USB插口连接，就能解决供电不足问题。如果采用双插口连接后仍不行，那么就是电脑的USB插口电路不良了。由于有的电脑USB插口电流容量较大，故而在这些电脑上就是采用单插口连接也能正常工作。　（王德沅）

Q 在制作调试VDR（用PC机DIY数字卫星接收机）过程中，我们发现虽然用键盘控制很准确可靠，但是经常要到键盘上去操作觉得很麻烦，设想遥控VDR，用红外接收头来做串口接收器，但现有的两个一体化接收头都没标记，能否用简单的方法予以识别？

（海南　刘俊等）

A 红外接收头一般只有3个引脚，分别为电源、接地和信号输出端。现在的红外接收头品种很多，不同型号的接收头，其引脚排列也不尽相同，如果接错，就不能正常工作。通常可用指针式万用表测量各个引脚的电阻值来判断其功能。方法如下：将万用表置于R×1k或R×100挡，分别测接收头各个引脚间的电阻值，每个引脚都要测到，而且正反向都要测（交换红黑表笔测量），测出阻值最小的两个引脚,通常为4~8kΩ，此时红表笔所接触的就是正电源端，黑表笔为接地脚，余下一个即是输出脚。　（王德沅）

电动车充电器的常见故障维修

◎马光路

电动车以其出行便捷、低碳环保的优势已进入我们的生活，但它的充电器故障率较高，很令人头疼。出于这个缘故，本人根据多年的维修经验，总结了电动车充电器的常见故障的维修方法，供大家参考。

一、工作原理

我们目前用的电动车充电器大部分都是脉冲式充电器，以UC3842为主控芯片的充电器占绝大多数，其次是以TL494为主控芯片的充电器，因这两种充电器的维修方法大同小异，所以本文介绍以UC3842为主控芯片的充电器的维修方法。这类充电器的工作原理与开关电源的原理基本相同，即220V的交流电经整流、滤波后得到约300V的直流电，送给功率变换电路进行功率转换。功率变换电路中的开关功率管（IGBT）在脉冲宽度调制控制器（UC3842）输出的脉冲控制信号驱动下，工作在“开关”状态，并将300V直流电切换成宽度可调的高频脉冲电压。当高频脉冲电压送到脉冲变压器时，次级感应出的高频脉冲交流电送给高频整流、滤波电路，最后输出一个比较平滑的直流电供给蓄电池充电。由于蓄电池刚开始充电的容量和端电压与充过一段时间后的是不一样的，充电器内部取样电路将取样信号通过光电耦合器（PC817）送入控制电路，经过脉宽调制芯片（UC3842）内部调制，由控制电路的输出端将变宽或变窄的驱动脉冲送到开关功率管的栅极，使变换电路产生的高频脉冲方波宽度也随之变宽或变窄，使蓄电池的充电分别进入：恒流充电、恒压充电和浮充充电这三个充电阶段。

二、常见故障维修

由于电动车充电器的输入电路工作在高电压、大电流的状态下，因此，故障率最高。如高压大电流整流二极管、滤波电容、开关功率管等，其次较易损坏的就是输出整流部分的整流二极管、保护二极管、滤波电容、限流电阻等，再就是脉宽调制控制器的反馈部分和保护电路部分。

1. 保险丝管熔断

一般情况下，保险丝管熔断说明充电器的内部电路存在短路或过流的故障。这是由于充电器长时间工作在高电压、大电流的状态下，内部器件的故障率较高所致。另外，电网电压的波动，浪涌都会引起充电器内电流瞬间增大而使保险丝熔断。

维修方法：首先仔细查看电路板上面的各个元件，看这些元件的外表是否被烧糊或有电解液溢出，闻一闻有无异味。再测量电源输入端的电阻值，若小于200kΩ，则说明后端有局部短路现象，然后分别测量4只整流二极管正，反向电阻值和两个限流电阻的阻值，看有无短路或烧坏的，最后再测量电源滤波电容是否能进行正常充放电、开关功率管是否击穿损坏、UC3842及周围元件是否击穿，烧坏等。需要说明的是：因是在路测量，有可能会使测量结果有误或造成误判，因此必要时可把元器件焊下来测量。如果仍然没有上述情况，则测量一下输入电源线及输出电源线是否内部短路。一般情况下，在熔断器熔断故障中，整流二极管、电源滤波电容、开关功率管、UC3842是易损件，损坏的概率可达95%以上，要着重检查这些元器件，就很容易排除故障。

2. 无直流电压输出或电压输出不稳定

如果保险丝是完好的，在有负载的情况下，这类故障的主要原因有：过压、过流保护电路出现开路，短路现象，振荡电路没有工作，电源负载过重，高频整流滤波电路中整流二极管被击穿，滤波电容漏电等。

维修方法：首先，用万用表测量高频脉冲变压器次级的各个元器件是否有损坏。排除了高频整流二极管击穿、负载短路的情况后，再测量各输出端的直流电压，如果这时输出仍为零，则可以肯定是电源的控制电路出了故障，最后用万用表静态测量高频滤波电路中整流二极管及低压滤波电容是否损坏。如果上述元器件有损坏，更换好新元件后，一般故障即可排除。但要注意：电源输出线断线或开焊、虚焊也会造成这种故障，在维修时应注意这种情况。

3. 无直流电压输出，但保险丝完好

这种现象说明充电器未工作，或是工作后进入了保护状态。

维修方法：首先应判断一下充电器的主控芯片UC3842是否处在工作状态或已经损坏。具体判断方法是：加电测UC3842的7脚对地电压，若7脚电压正常并且8脚有+5V电压，1、2、4、

UC3842的各管脚功能及正常工作时的对地电位

管脚号	功能	对地电位
1	误差放大器的输出端	2.5V左右
2	反馈电压输入端	2.51V左右
3	电流检测输入端	小于1V
4	定时端 *f*=1.8/（RT×CT）	2V左右
5	公共地端	0V
6	推挽输出端	15V（方波）
7	电源端	15V
8	5V 基准电压输出端	5V

6脚也有不同的电压，则说明电路已启振，UC3842基本正常。若7脚电压低，其余管脚无电压，则说明UC3842已损坏。最常见的损坏是7脚对地击穿，6、7脚对地击穿和1、7脚对地击穿。如果这几只脚都未击穿，而充电器还是不能正常启动，也说明UC3842已损坏，应直接更换。若判断芯片未坏，则着重检查开关功率管栅极的限流电阻是否开焊、虚焊或变值以及开关功率管本身是否性能不良。除此之外，电源输出线断线或接触不良也会造成这种故障，因此在维修时也应注意检查。

4. 直流电压输出过高

这种故障往往是由稳压取样和稳压控制电路异常所致。在充电器中，直流输出、取样电阻、误差取样放大器、光耦合器、电源控制芯片等共同构成了一个闭合的控制环路，任何一处出问题都会导致输出电压升高。

维修方法：由于充电器中有过压保护电路，输出电压过高首先会使过压保护电路动作。因此遇到这种故障，我们可以断开过压保护电路，使过压保护电路不起作用，然后测量开机瞬间的电源主电压。如果测量值比正常值高出1V以上，说明输出电压过高的原因确实在控制环路中。此时应着重检查取样电阻是否变值或损坏，精密基准电压源（TL431）或光耦合器（PC817）是否性能不良、变质或损坏。其中精密基准电压源（TL431）极易损坏，我们可用下述方法对精密稳压放大器进行判别：将TL431的参考端（Ref）与它的阴极（Cathode）相连，串10kΩ的电阻，接入5V电压。若阳极（Anode）与阴极之间为2.5V，并且等待片刻还仍然为2.5V，则为好管，否则为坏管。

5. 直流电压输出过低

根据维修经验，除稳压控制电路会引起输出电压过低外，还有以下几点原因：（1）输出电压端整流二极管、滤波电容失效，可以通过代换法进行判断。（2）开关功率管的性能下降，导致开关管不能正常导通，使电源的内阻增加，带负载能力下降。（3）开关功率管的源极通常接一个阻值很小但功率很大的电阻，作为过流保护检测电阻。该电阻的阻值一般在0.2~0.8Ω。如该电阻变值或开焊、接触不良也会造成输出电压过低。（4）高频脉冲变压器不良，不但造成输出电压下降，还会造成开关功率管激励不足从而屡损开关管。（5）高压直流滤波电容不良，造成电源带负载能力差。（6）电源输出线接触不良，有一定的接触电阻，造成输出电压过低。（7）电网电压过低。虽然充电器在低压下仍然可以输出额定的充电电压，但当电网电压低于充电器的最低电压限定值时，也会使输出电压过低。

维修方法：首先用万用表检查一下高压直流滤波电容是否变质、容量是否下降、能否正常充放电。如无以上问题，则测量一下开关功率管的栅极的限流电阻以及源极的过流保护检测电阻是否变值、变质或开焊、接触不良。若无问题，再检查一下高频变压器的铁芯是否完好无损。除此之外还有可能就是输出滤波电容容量降低，或开焊、虚接，电源输出限流电阻变值或虚接，电源输出线虚接等。这些因素都不要放过，都应仔细检查，确保万无一失。

6. 散热风扇不转

这种故障原因主要是控制风扇的三极管（一般为8550或8050）损坏，或者风扇本身损坏或风叶被杂物卡住。但有些充电器中采用的是智能散热，对于采用这种方式散热的充电器，热敏电阻损坏的概率是很大的。

维修方法：首先用万用表测量一下控制风扇的三极管是否损坏，若测得此管未损坏，那就有可能是风扇本身损坏，可以把风扇从电路板上拔下来，另外接上一个12V的直流电（注意正、负极），看是否转动，还要看有无异物卡住。若摆动几下风扇的电线，风扇就转动，则说明电线内部有断线或接头接触不良。若仍不转动，则风扇必坏。对于采用智能散热的充电器来说，除按上述检查外，还应检查一下热敏电阻是否不良或损坏、开焊等。但要注意此热敏电阻为负温度系数，更换时应注意。

三、检修实例

例1：YG-WY-H型电动三轮车智能充电器有电压输出，但充不进去电。

根据故障现象，初步判断电源输入整流电路部分有故障，有可能是输出电源插头与充电插座接触不良所致。用十字旋具将充电器的4颗紧固螺钉拆下，打开上盖。首先看到输入整流电路中的电源滤波电容C5（82μF/400V）已炸裂、漏液。然后用万用表的“R×1”挡测量输出电源插头和充电插座，发现阻值很小，几乎为0Ω，这说明它们接触良好。为了万无一失，再用万用表测量其他易损坏的元件及充电保险管，相关的电路如图1所示。经测量均未损坏。最后换上一个与原来的耐压（耐压可大于原来的值，但绝对不能小于原来的

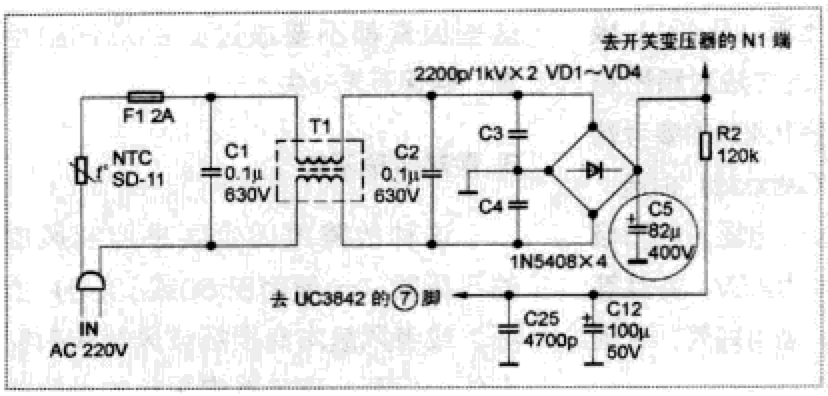


图1 例1的部分电路图及故障点

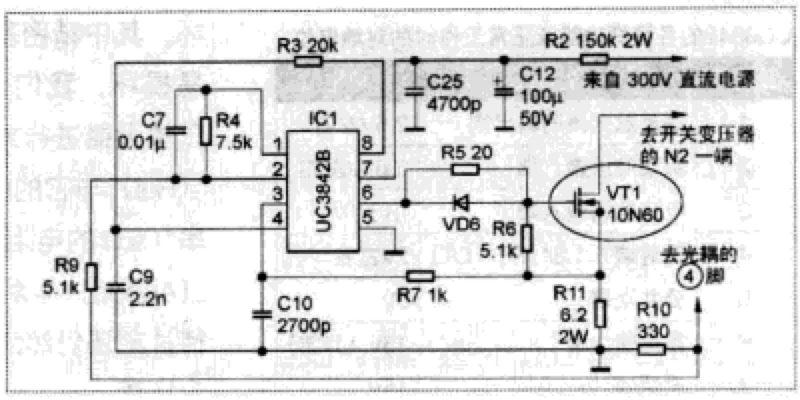


图2 实例5的部分电路图及故障点

值）和容量相同的电解电容（82μF/400V），焊好，插上电源插头和充电插头。经数小时的充电，充电器上的“充满”指示灯亮，表明蓄电池已充满，故障排除。

例2：FTC-2001型充电器无电压输出，但保险丝管完好。

此故障属于本文中的第3类。相关的电路如图2所示。先检查电路有无开焊，闻一闻有无烧焦气味，再用万用表的“R×1k”挡测量UC3842的限流电阻R2（2W/150kΩ的碳膜色环电阻）。经测量，其阻值与标称值相接近，说明此电阻未坏。然后插上电源插头，对UC3842进行加电检测，将万用表拨至“直流电压50V”挡，测得7脚的对地电压为15V左右，8脚对地有+5V的电压，1、2、4、6脚对地也基本正常，这说明UC3842在正常工作，未损坏。下一步就应着重检查开关功率管VT1本身及其源极的限流电阻R11了。为了不影响测量的准确性，将开关功率管VT1及漏极限流电阻R11拆下。稍等片刻，等元件冷却到室温后，使用万用表“R×1”挡，对漏极限流电阻R11进行测量。此电阻为2W/6.2Ω的碳膜色环电阻。经测量其阻值与标称值相接近，说明此电阻未坏。再将万用表的电阻挡拨至“R×1k”挡，对开关功率管VT1进行测量。此开关功率管的型号为“10N60”（10A600V）IGBT型功率管。在测量前要对IGBT管的三个引脚短路放电，以避免影响测量的准确度。然后用万用表的红，黑表笔正，反测量一下G极与D极，G极与S极，均有几十千欧的电阻（正常时，G极与D极，G极与S极之间的电阻均为无穷大），这说明此开关功率管的性能变差。换上新的10N60型的开关功率管，通电试验，电源指示灯亮了，这时用万用表的“直流电压50V”挡测量了一下输出电压，为44V。电路恢复正常工作，故障排除。

例3：青鸟牌电动车充电器无直流电压输出，且保险丝管熔断。

此故障现象属于本文中的第一类。打开上盖，顿时闻到烧焦味，看到烧糊并炸开的UC3842、烧得发黑的保险丝管以及两个限流电阻R1和R5（R1是UC3842的限流电阻，R5是开关功率管的栅极限流电阻）。相关电路如图3所示，根据维修经验可知：开关功率管VT1肯定在劫难逃，必坏。先将损坏明显的元件焊下，再将万用表的电阻挡拨至“R×1k”挡，对开关功率管进行测量。经测量，开关功率管VT1的3个电极全部击穿。接着用万用表测量4个整流二极管VD1~VD4及电源滤波电容C3，经测量4个整流二极管VD1~VD4及电源滤波电容C3均未损坏。然后把损坏的元件处理干净后，换上同型号的新元器件，不料，保险丝管又爆了。马上拔下电源插头，将电源滤波电容作放电处理后，

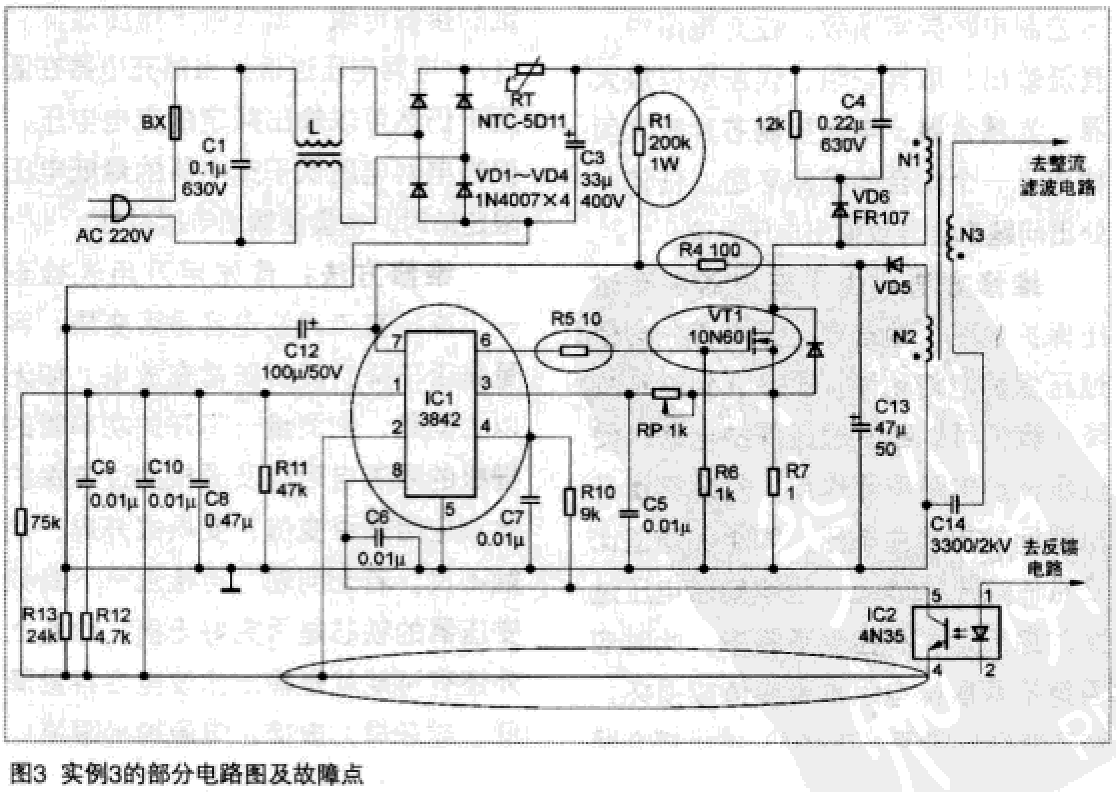


图3 实例3的部分电路图及故障点

夏普投影机XV-P100检修4例

◎霍汉明

例1 图像下半部有2cm宽的一条水平网纹

检修：从故障现象可以看出，这与液晶显示板不良有关。更换液晶显示板后，故障排除。

例2 机器无法启动

检修：机器不能开启应首先检查电源电路，该机为100V交流电源供电。据了解，用户开机时将电源错插至220V交流市电插座，故将电源板烧毁。打开机壳检查电路板，发现电源保险丝（5A）、一只水泥电阻（4.7Ω）和一只680μF/400V滤波电容器烧坏，分别换件后故障排除。

例3 开机灯不亮，整机不工作

检修：首先开盖测量整流电路，有直流300V电压，说明整流电路正常。经测试发现保险丝F7001（T1.5A/250V）烧断，测出IC7001的2端电阻值为零，说明电源存在短路，逐点检测，发现IC7001（MA1050）的2、4脚短路，更换IC7001和F7001后故障排除。

例4 通电后电源指示灯亮，但整机不工作

检修：测整流电路输出，有约300V直流电压，说明整流硅桥工作正常。按动电源启动按键，机器无任何反应。该机的电源为开关电源，测集成块IC7001各引脚电压，正常。测变压器次级整流管DS7001输出，有15V，测试IC7002输出，有12V。但测试稳压PA15V、PB10V均无输出。该两组电源是风扇电机的供电电源，其电源的开启受控于微处理器IC2001（IX1634CE）的36脚、37脚（CTL2、CTL1），当正常开启时36、37脚均输出5V的高电平。而测试该两引脚，均为低电平。微处理器是对整机各部分进行检测控制，以保证正常工作，于是测试微处理器IC2001（IX1634CE）各引脚，发现电位多低于正常值，其中42脚（VDD）无 5V供电电压，该电压是由Q2007（2SC3198）供给，其作用是将开关电源送来的12V降为5V。测量其集电极有12V输入，而发射极无5V输出，基极为0V（正常时基极电位应高于发射极0.7V，发射极才有输出）。取下该管测量，管子良好，其基极相对地分别接有一个稳压管及电解电容器。经测量发现该稳压管已击穿短路，用一个5.6V的稳压管更换该管（D2021）后，故障排除。

用万用表分别对前面所换元件进行检查测量。经测量，所换元件全部都烧坏了。把损坏的元件全部焊下，将万用表的电阻挡拨至“R×1k”挡，对其余易损元件进行检查。经测量发现R4烧坏，阻值为无穷大。换上一个新的0.25W/100Ω的碳膜色环电阻和前面所换元器件，通电试验。不料，保险丝又爆了。如此反复烧保险管，故障点肯定还是没有真正找到，没有被根除。那么故障点到底在哪呢？进一步深入分析：最初的故障现象是很严重的，有好几个电子元器件都被烧糊甚至炸裂，这说明电路确实存在短路和过流的故障。从另一方面分析，电子元器件被烧糊甚至炸裂的瞬间会产生大量的热，致使PCB板上的某些细小的敷铜板因瞬间高温而被融化，因其十分细小、且被烧处已发黑，不容易被发现。根据以上分析，仔细的对烧焦处进行清理，检查有无敷铜板被烧化后留下的痕迹。发现在连接光电耦合器（4N35）的4脚与UC3842的2脚之间的敷铜板烧化了。于是用一段电线将其连接好，同时也把其他损坏的元器件全部换上新的，焊好。然后用万用表重新检查一遍，无误后通电试验，保险丝管安然无恙，电源指示灯亮了，用万用表测量一下输出电压，为55V。电路恢复正常工作，故障被彻底排除。

总的来说，电动车充电器的常见故障基本上就是这六种类型。但在实际维修中，保险丝管、整流二极管、滤波电容、开关功率管、主控芯片以及限流电阻等是最容易损坏的。大部分故障都是由此而造成的。除此之外，由于长期不正确的使用和不及时维护电动车充电器，特别是在较恶劣的工作环境，有些元器件出现松动，造成虚焊或开焊；电源线内部出现断线，插头内部弹片失去弹性，使其虚接或有一定的接触电阻等，这些因素也会造成充电器不能正常充电。无论是维修什么类型的充电器，在认为维修好了之后，没通电之前，都要进行仔细的检查，确保万无一失，安全可靠，避免浪费元件，提高维修效率。

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 现在许多DVD播放器都可通过USB口直接播放从网上下载来的电影，可是我将一块双USB插口的移动硬盘接到一台DVD播放机上却无法识别，而移动硬盘中的电影文件在电脑上播放正常。这是何故?能否解决?

（广东　穆诚等）

A 在DVD播放机正常的情况下，这种故障通常是DVD的USB插口供电不足所致。如果DVD有两个USB插口，可再插一个USB试试，但许多DVD机只有一个USB口，故而无法采用这种方法。对此，可用以下两种方法解决：（1）将移动硬盘的另一USB口连接到MP3/MP4播放器等的充电器上就可正常使用。（2）采用带5V 0.5A电源的有源HUB集线器，不但可使USB插口扩展为多个，而且能保证充足供电，可支持电流要求大的移动硬盘等设备，这种HUB集线器也可用于笔记本和台式电脑上。

（王德沅）

Q 一台奔腾POVOS PEF30N型电饭煲，开机后不能正常工作，液晶显示屏显示"E2"，这代表什么意思？怎么检修？

（浙江　刘晓朝等）

A 奔腾PEF30N型电饭煲具有故障自动诊断显示功能，如主（温度）传感器断路或温度低于－2.7℃时，液晶屏显示"E2"；主传感器短路或温度高于213℃时，液晶屏显示"E1"等。由此可见，你们所述的故障一般是主传感器断路或温度低于－2.7℃所致，如环境温度不低于－2.7℃，那么就是主传感器的故障。该机主传感器安装在锅底加热盘中心位置，通过引线和BOT接插件与控制电路板连接。检修时，可拔出BOT插头，测量两端电阻，正常阻值为100kΩ左右（室温10℃~30℃），如果阻值为无穷大或很大，表明传感器开路，若引线和接插件都正常，就是传感器损坏，只要换新就可排除故障。

（王德沅）

Q 新购一台奥林巴斯（OLYMPUS）FE-47数码相机，原来使用次数不多，没发现什么问题，拍摄效果也觉得不错。但是最近使用频繁了，才发现电池的使用时间较短，往往拍十几张照片就提示剩余电量不足，自动关机。曾经怀疑电池不良，但是换了1300mA/H和2000mA/H的两种充电电池都一样，而且每次都是充足电的，这是相机出了故障还是充电电池的问题?

（河北　徐昌德）

A 数码相机通常都有电量检测电路，当电量不足时会发出提示和自动关机。对能使用碱性和镍氢两类电池的相机而言，两者的电量检测阈值不同，使用镍氢电池时的阈值比碱性电池低。因此，如果你使用镍氢电池而将相机设置在"碱性电池"位，那么即使充足了电，也只能使用很短时间，只要电池电压稍微降低，检测电路就会发出报警、自动关机或开不了机。只要设置相机，进入"电池选项"，选择"镍氢电池"就能解决问题。如选项正确但问题还是存在，那就是电量检测电路的故障了。

（王德沅）

Q 一台深圳福生电子厂生产的R315型迷你FM收音机出现无声故障，经检查发现电池电量充足，接触良好，电源开关正常、也无明显断线或短路等现象，是否集成电路损坏？但是在该机印制板上没看到集成电路，怎么检修?

（安徽　陆凯楷）

A 该机采用软封装的FM收音机专用集成电路，在印制板背面那块与十几条印制线路连接的黑色圆形凸起物就是该IC。如果电池、开关和电源线路等都正常，可查电源电流，正常应为20~26mA。倘若实测电流为零或很小，通常是电源电路断路所致，可仔细检查电池的接触是否良好，电源引线和印制电路是否断线或脱焊等，如都正常，那么大都是集成电路损坏。若实测电流正常，则基本可排除电源电路和集成块损坏的可能性，大多是元器件接触不良、脱焊、断线等所致，实践表明，以耳机插口被电池漏液腐蚀而导致接触不良的情况较为多见（故障较隐蔽，从外观往往看不出），只要拆卸插座，彻底清除污垢后就能解决问题。

（王德沅）

Q 有一部主芯片为瑞芯微RK2706的MP4播放器，其静态电源电流高达200多mA，而且主芯片RK2706发烫，实测稳压集成电路IC7（OPC2150TWA）输出电压竟达2.5V，正常应为1.2V，曾经换过两片IC7芯片，结果还是一样，检查IC7的焊点和外围连接等都没发现问题，这是何故？怎么解决?

（湖北　刘劲松等）

A OPC2150TWA是一种高性能PWM（1.5MHz）DC/DC电源变换集成块，输入电压范围为2.2~5.5V，对可调节输出版本芯片而言，其输出电压可在一定范围内调节，输出电流最大为600mA。IC7的5脚是输入反馈端，在5脚、3脚和地三者间接上两个分压电阻，调整电阻的比值可改变输出电压，该机两个电阻都为200kΩ左右。所以如果芯片没有质量问题，就应该仔细检查这两个电阻和芯片的连接状况，以及是否存在漏电等状况，通常很快就能找到故障所在。

（王德沅）

电磁灶IGBT管的代换技巧

◎王德沅

IGBT是Insulated Gate Bipolar Transistor的缩写，中文名称为“绝缘栅双极型功率管”，是由“双极型”三极管和绝缘栅型场效应管两者复合而成的全控制型电压驱动式电力电子器件。现在这种器件已经广泛应用于电磁炉、电饭煲、变频空调、变频洗衣机等家电及工农业设备中。在电磁炉产品中，IGBT几乎是不可缺少的功率电子器件。由于电磁炉工作在高温、高压、大电流状态下，所处环境大多比较恶劣，所以IGBT损坏比较多见，尤其是一些自身质量不佳的或代换不妥的IGBT管更容易发生故障。经常有读者朋友问及各种各样的IGBT的特性、种类和代换等问题，这里先以电磁炉中应用十分广泛的东芝公司IGBT产品为例介绍一些这方面的实用知识，以飨读者，以后有机会再介绍其他公司的产品和代换。

东芝IGBT器件型号命名和代换

“某某IGBT内部是否带有阻尼管？”是读者来信来电中询问最多的问题之一。例如，有读者问及一台电磁炉中的西门子IGBT损坏，型号为BUP304，称当地只能购到东芝公司的GT50T101，不知其是否内带阻尼二极管，参数如何，能否代换BUP304？

其实，对于东芝IGBT产品，从型号上就可知道管子是否内含阻尼管。东芝IGBT的型号由6个部分数字、字母组成，如图1所示。其中第一部分GT表示为IGBT，第二部分用数字表示电流等级（极限参数值，电压也一样），单位为A，60就是电流参数I_C为60A ，第三部分用字母表示电压等级（V_{CES}，），具体字母对应的耐压已经标示在图1下面的表格中，第四部分用数字表示管子沟道的类型和管子是否内含阻尼（续流）二极管，如果数字是“3”就表示该管内含阻尼二极管，而1、2就是不带阻尼管的品种，所以只要看型号第四部分就能区分该管是否内含阻尼管，不必再去查找资料或向别人咨询，是不是特别方便？第五、六部分分别表示管子的类型和版本。

现在回头再来看上面读者所提的问题。BUP304是西门子公司产品，其最大电流I_C为35A，最高电压V_{CES}，为1000V，内部不含阻尼二极管，而从型号上我们就已经知道GT50T101是不带阻尼管的品种，其I_C为50A，V_{CES}为1500V，电流电压参数明显高于BUP304，所以完全可以代换BUP304。如果原机阻尼二极管没损坏，代换时不需处理，只要注意安装可靠就可。

东芝IGBT新、老产品的主要特性和代换

我们经常维修的电磁炉等家电产品中，有不少IGBT或二极管等元器件都是厂商以前生产的老产品，现在可能为了调整产品结构或遭到淘汰等原因而停产。这类产品由于库存有限，不容易买到，所以就要考虑用别的型号的类似产品来代换。如果有原厂商自己推荐的原厂代换品种，那么通常就可作为首选考虑。表1所示就是东芝公司生产的IGBT新、老产品的主要特性和代换一览，从中可方便地查到东芝公司生产的常用IGBT的主要特性和新老代换型号，如上面提到的GT50T101就是一种老产品，可代换的新产品为GT40T301，同样GT40T101也可用GT40T301替换。不过应该注意，推荐替代的大多数新品种的特性或封装可能与老产品不完全一样，所以代换时如果原机IGBT的特性参数余量不太宽裕，就需要考虑新产品的特性是否适应，是否带有阻尼管？封装不一样时还要考虑安装的问题。

阻尼管的处理

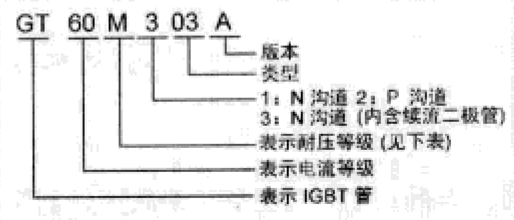
代换IGBT管时，在管子类型、耐压、电流等参数相同或相似的情况下，还要注意管子内部是否含有阻尼二极管。IGBT有含阻尼管和不含阻尼管的两种类型，通常两者不宜或不能直接代换。如果用内含阻尼管的IGBT来代换原机中不含阻尼管的IGBT，焊装代换时，可拆除原机连接在IGBT管D、S两端的阻尼管。反之，用不含阻尼管的IGBT来代换含阻尼管的IGBT时，则需增加一个快恢复二极管，并且保证散热良好。注意，快恢复二极管的最大反向恢复时间T_{rr}通常小于600ns，不能使用T_{rr}远大于此的普通整流二极管来代替。

如何用万用表测量判断IGBT管的好坏

维修电磁炉的时候，经常需要测量判断IGBT管子的好坏，这里介绍用普通指针万用表测量判断IGBT管的方法。检测IGBT管时，可用指针万用表的R×1k挡，正反测G、E及

表1 东芝IGBT新、老产品的主要特性和代换

主要应用	老产品	极限工作参数		封装形式	参考替代产品	极限工作参数		封装形式
		V_{CES}（V）	I_C（A）DC			V_{CES}（V）	I_C（A）DC	
软开关应用	MG30T1AL1	1500	30	IH	GT40T301	1500	40	TO-3P(LH)
	MG60M1AL1	900	60	IH	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT40M101	900	40	TO-3P(N)IS	–	–	–	–
	GT40M301	900	40	TO-3P(LH)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT40T101	1500	40	TO-3P(LH)	GT40T301	1500	40	TO-3P(LH)
	GT60L101	800	50	TO-3P(L)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT50M101	900	50	TO-3P(L)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT50O101	1200	50	IH	GT40T301	1500	40	TO-3P(LH)
	GT50S101	1400	50	IH	GT40T301	1500	40	TO-3P(LH)
	GT50T101	1500	50	IH	GT40T301	1500	40	TO-3P(LH)
	GT60J101	600	60	TO-3P(L)	GT80J101B	600	60	TO-3P(LH)
	GT60J322	600	60	TO-3P(LH)	GT50J321	600	60	TO-3P(LH)
	GT60M101	900	60	TO-3P(L)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M102	900	60	TO-3P(L)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M103	900	60	TO-3P(L)	GT50M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M104	900	60	TO-3P(L)	GT50M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M105	900	60	TO-3P(L)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M301	900	60	TO-3P(LH)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M302	900	60	TO-3P(LH)	GT60M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M305	900	60	TO-3P(LH)	GT50M303	900	60	TO-3P(LH)
	GT60M322	950	60	TO-3P(LH)	GT60N321	1000	60	TO-3P(LH)
	GT80J101	600	80	TO-3P(L)	GT60J101B	600	80	TO-3P(LH)
					GT50J321	600	60	TO-3P(LH)
	GT80J101A	600	80	TO-3P(LH)	GT80J101B	600	80	TO-3P(LH)
硬开关应用	GT8J101	600	8	TO-220NIS	GT10J303	600	10	TO-220NIS
	GT8J102	600	8	TO-220SM	GT10J312	600	10	TO-220SM
	GT8N101	1000	8	TO-3P(N)	GT10Q101	1200	10	TO-3P(N)
	GT8Q101	1200	8	TO-3P(N)	GT10Q101	1200	10	TO-3P(N)
	GT8Q102	1200	8	TO-220SM	–	–	–	–
	GT10Q311	1200	10	TO-3P(SM)	–	–	–	–
	GT20J101	600	20	TO-3P(N)	GT20J101	600	20	TO-3P(N)
	GT15J102	600	15	TO-220NIS	GT15J301	600	15	TO-220NIS
	GT15J103	600	15	TO-220SM	GT15J311	600	15	TO-220SM
	GT15N101	1000	15	TO-3P(N)	GT15Q102	1200	15	TO-3P(N)
	GT15Q101	1200	15	TO-3P(N)	GT15Q102	1200	15	TO-3P(N)
	GT15Q311	1200	15	TO-3P(SM)	–	–	–	–
	GT20J311	600	20	TO-3P(SM)	–	–	–	–
	GT25H101	500	25	TO-3P(N)	GT30J101	600	30	TO-3P(N)
	GT25J101	600	25	TO-3P(N)	GT30J121	600	30	TO-3P(N)
	GT25J102	600	25	TO-3P(N)IS	GT30J121	600	30	TO-3P(N)
	GT25Q101	1200	25	TO-3P(LH)	GT25Q102	1200	25	TO-3P(LH)
	GT30J311	600	30	TO-3P(SM)	–	–	–	–
	GT50J101	600	50	TO-3P(L)	GT50J121	600	50	TO-3P(LH)
闪光灯电路应用	GT5G101	400	130（pulse）	NPM	GT5G103	400	130（pulse）	DP
	GT5G102	400	130（pulse）	DP	GT5G103	400	130（pulse）	DP
	GT8G101	400	130（pulse）	NPM	GT5G103	400	130（pulse）	DP
	GT8G102	400	150（pulse）	NPM	GT5G103	400	150（pulse）	DP
					–	–	–	–
	GT10G101	400	130（pulse）	TO-220NIS	GT25G101	400	170（pulse）	TO-220FL
	GT10G102	400	130（pulse）	TO-220NIS	GT25G102	400	150（pulse）	TO-220FL
	GT15G101	400	170（pulse）	TO-220NIS	GT25G101	400	170（pulse）	TO-220FL
	GT20G101	400	130（pulse）	TO-220FL	GT25G101	400	170（pulse）	TO-220FL
	GT20G102	400	130（pulse）	TO-220FL	GT8G103	400	150（pulse）	DP
	GT25G102	400	150（pulse）	TO-220FL	GT8G103	400	150（pulse）	DP
	GT50G101	400	100（pulse）	TO-3P(N)	GT25G101	400	170（pulse）	TO-220FL
	GT50G102	400	100（pulse）	TO-3P(N)	GT8G103	400	150（pulse）	DP
	GT75G101	400	150（pulse）	TO-3P(N)	GT25G101	400	170（pulse）	TO-220FL



符号	电压(V)	符号	电压(V)
C	150	M	900
D	200	N	1000
E	250	P	1100
F	300	Q	1200
G	400	R	1300
H	500	S	1400
J	600	T	1500
K	700	U	1600
L	800	V	1700

图1

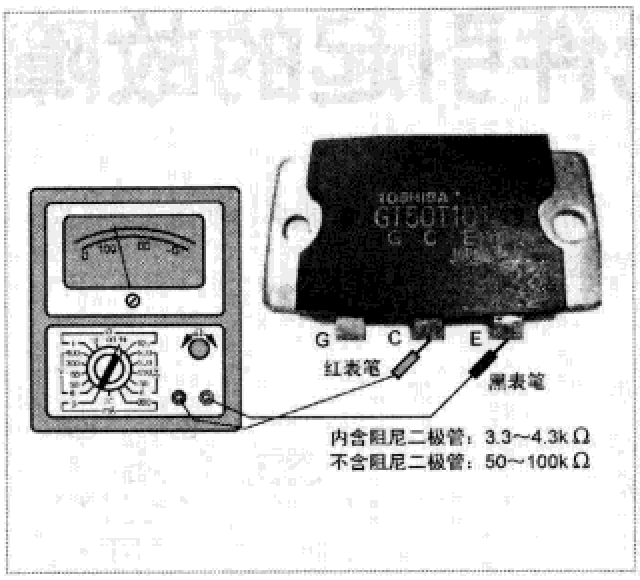


图2

图3

G、C两极的电阻，正常均应为无穷大，然后红表笔接C极，黑表笔接E极，若所测阻值在3.3~4.3kΩ，则为管子内含阻尼二极管的IGBT管，若所测阻值在50~100kΩ，则所测IGBT管内不含阻尼二极管。IGBT管的检测示意图如图2所示，万用表的表笔连接除了图2所示之外，其他连接检测的读数均应为无穷大。如果测量IGBT管有两个引脚的电阻很小，说明管子已击穿损坏，若正反测量IGBT管C、E极的电阻均为无穷大，则表明已开路损坏。实践表明，很多电磁炉中损坏的IGBT管都呈现为击穿特征，开路损坏的相对少见。

如何防止IGBT管烧坏

许多维修经验表明，电磁灶的故障多半是IGBT功率管烧坏所致，有的电磁灶代换好管子后，刚开机不久或工作一段时间后又被烧坏，这是最令维修人员感到棘手的问题，造成这种故障的主要原因及处理方法如下：

1. 由于IGBT工作在高温、高压、大电流状态下，因此对管子的要求较高，购买代换管时一定要慎重，千万不可贪图便宜而购买杂牌或假冒伪劣产品，否则很可能买到参数不符合要求或本身质量不好的IGBT，损坏的几率会大大增加。所以要防止代换管子被烧坏，首先需保证新换IGBT管的质量良好，应该到信誉良好的店家或上网去购买优质正牌产品。

2. 在维修中应该确保要IGBT、阻尼管、大功率电阻和大电容焊接牢靠，对有怀疑的元器件必须重新焊接牢靠。保证机内接插件的接触可靠，有怀疑时应拆开清洗后再插紧接插件。

3. 通常电磁炉中的IGBT等器件都是安装在一个铝质散热器上的，如图3所示就是“苏泊尔”TD0501CT型电磁炉的内部印制电路板和散热器的实体图，IGBT就是安装在这个体积颇大的散热器上。代换时，注意要先在管子的散热板或基板上涂抹一层“硅脂”或硅胶，然后将管子安装在散热器上，再“拧紧”固定螺丝，以确保管子和散热器的热接触良好。硅胶（硅脂）是一种无毒的乳白色粒状固体，在电磁炉的线圈和面板间、大功率管等部位都有这种东西，它可增加粘合度和热传导，如果不用硅胶或拆机时被抹去的话，就会使IGBT等散热不良，甚至过热烧坏，或者引起超温保护电路失效，这样也可能导致IGBT等被烧坏。

4. 将散热器上的温度传感器改装在大功率管的C极紧固螺丝上，这样可使其过热切换动作更快速可靠，一定程度上可减少管子被烧坏的可能性。此外，温度传感器和散热风扇不良在电磁炉故障中也时有发现，容易被人忽视，检修时务必重视这两点。

5. 一般电磁灶发生IGBT烧毁故障，多半还会同时有其他元器件损坏，仅仅只损坏IGBT的情况相对较少见，所以检查出IGBT烧坏后，一定不能急于换新管子试机，而是应该继续仔细检查相关元器件，如果找到损坏或不良的元器件，应该换新，在没有其他元器件损坏时，调换IGBT后再试机才比较放心。维修实践表明，通常与IGBT同时损坏的元器件主要有：保险丝（熔断）、整流二极管（整流桥堆，击穿或开路）、＋300V电源滤波电容（失容或击穿）、IGBT激励电路的驱动管或集成电路（击穿）和LC振荡电路的谐振电容（开路或漏电）等，可一一仔细检查，通常不用多少时间就可查完。

“盲肠”元件引起的故障

◎周永海

一台三星710S显示器，由于一个“盲肠”式元件的屡次损坏，使修理者多次返修机器，弄得几乎心力交瘁，最后还是割除“盲肠”了事。现将其维修过程简述如下，供同行借鉴。

故障现象：电源指示灯闪烁，屏幕无光，因当时正值雨季，空气湿度很大，怀疑机器受潮，拆机后清洁一番，又用电吹风将可能受潮部位吹拂一遍，故障消除。几天后，在使用过程中突然无光，电源指示灯亦不亮了。

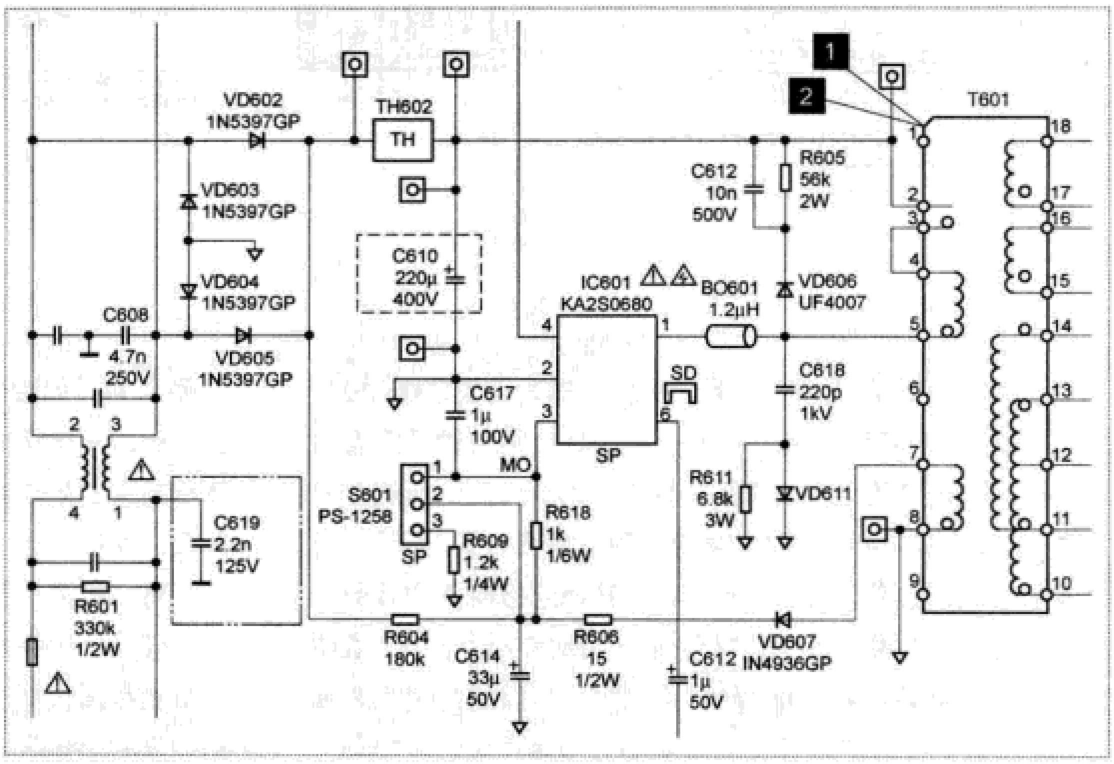
检修过程：因电源指示灯不亮，首先检查电源部分。该机开关电源采用厚膜电路KA2S0680（类似UC3842的振荡电路+IGBT组成），经检查发现KA2S0680的2、3脚间电阻异常（很小，几十欧），查显示器的原理图（见附图），知其2脚为地端，3脚为电源ON端，断开KA2S0680各脚与电路的连接，用数字万用表测其2、3脚间的电阻，黑笔接2脚，为9kΩ，红笔接2脚，为500kΩ，说明KA2S0680正常。再查其外围电路，发现有一稳压二极管VD630（电路图上并未标出）接在2、3脚之间。拆下测之，正、反向电阻均为几十欧，已击穿。由于VD630击穿，使得KA2S0680内的振荡电路停振，开关电源进入保护状态，各组直流电压均无输出，显示器停止工作，故无光栅。经查资料后方知VD630的稳压值为27V，将该稳压管换新后，机器恢复正常。

正常时测得2S0680各引脚对地电压如附表所示。

使用1个月有余，又出现同样故障现象，经查，仍为VD630击穿，分析电路知：KA2S0680（IC601）的3脚为电源启动端，启动时，电源开关按下，

附表

脚号	1	2	3	4	5
电压(V)	302	0	18.3	1.5	5



电源部分电路图

将R610（1kΩ，1/6W）短接，300V电源经R604降压后直接送至IC601的3脚，促使IC601内部开关电路起振，电源开始工作。正常工作时IC601的3脚电压为18.3V，但在启动时其脉冲电压幅值会升至20V，甚至更高（由3脚高频旁路电容C617的耐压为100V推知）。为了保护IC601，设计者后来又在3脚对地之间添加了一个稳压值为27V的稳压二极管VD630进行箝位保护。许多电子产品的后期改进点在早期印制的图纸中是反映不出来的，故该二极管在电路图上并未标出。但在许多情况下，开机时其脉冲幅值可能大大超过27V，于是导致VD630击穿，而出现上述故障现象。

考虑到脉冲幅值过高的情况，将VD630换成33V的稳压二极管，用了一段时间，尚属正常，但不久又被击穿。再换，不久又击穿……于是干脆拆下VD630不用，开机正常，使用年余均未再出现同类故障。看来VD630就是一个“盲肠”式的元件，由此推知，最初原电路并未用VD630进行保护，还是有道理的：说明绝大部分2S0680器件对脉冲的耐压性能还是不错的。后来设计者增添VD630的保护措施，只能算是“蛇足”了。

由此想起在网上看到的一个小故事：这件事发生在美国，美国国家航天局发现，航天飞机上的一个零件总是出故障，不是今天坏就是明天坏，花费很多人力物力始终无法解决，最后一个工程师提出，是否可以不要这个零件。后来的事实证明，这个零件确实是多余的。

这个令人啼笑皆非的故事告诉我们，在我们固有的定势思维中，是存在着某些盲点的，而我们自己往往会陷入钻牛角尖的困境中。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一副立体声耳机的左声道无声，检查后发现引线内部断裂，断点在靠近左声道耳机的根部附近，想自行连接，但是剪断引线后，发现内芯竟然有6条细导线，不知如何连接才好，需要一一对应连接吗？（上海　龚吉强）

A 过去耳机线大多是双芯的，现在也有不少耳机采用多芯线。其实多芯耳机线本质上还是起双芯的作用，其中一条往往是漆包线，另外多条为裸铜线，后者实际相当于一条导线，连接时，只要先把一条漆包线相互接好，然后再连接多条裸线，不必一一连接，可以同时把它们相互连接好即可，但是也不要只是连接其中一条或几条，否则耐力度不够。另外要注意漆包线和裸铜线之间的绝缘，防止短路。（王德沅）

Q 检修一台奔腾PEF30E-B型600W电饭煲，发现机内温度传感器两端电阻值为6.5kΩ左右，不知是否温度传感器已经损坏？怎么检修？（河南　崔孝晖等）

A 奔腾 PEF30E-B 型电饭煲中采用了两个温度传感器，即底部（主）传感器和顶部传感器。前者被安装在锅底加热盘中心位置，通过引线和 BOT 接插件与控制电路板连接，后者被安装在锅盖内部，通过引线和 TOP 接插件与控制板连接。两个传感器的两端电阻值都为 6.5kΩ 左右，但是该阻值正常并不表明传感器也正常。检查时，应拔出 BOT 和 TOP 插头，分别测量其两端电阻，正常室温下的阻值为 91~100kΩ，如果阻值为无穷大或很大，表明传感器开路，若引线和接插件都正常，说明传感器损坏。（王德沅）

Q 一台电动车充电器中的一个型号为 FR106 的整流二极管，工作时发烫严重，没多久就把二极管周边的印制线路板烤焦、明显变色，现在在环境温度较高的情况下不敢开机充电，生怕二极管和其他元器件被烧坏，据说别人的同类充电器已经多次损坏，不知怎么解决这个问题？（浙江　俞昀）

A 由于电动车充电器输出电流通常较大，整流管的功耗也大，故而发热较厉害。FR106是快速恢复整流二极管，其最大反向峰值电压V_{PR}=800V，最大平均正向电流I_o=1A，t_{rr}=500ns，用在输出电流为1A的充电器中大多显得裕量不足，如果充电电流大于1A，管子工作时就会严重发热，甚至被烧坏。解决方法如下：一是可以换一只I_o=1.5～3A的同类二极管，如：FR156、FR157、FR206、FR207、FR306和UF5407等，二是可在原FR106上再并接一个同型号管子，以分担输出电流，降低温度。（王德沅）

Q 一台海尔微波炉只要一开机，居室的电表就会跳闸断电。但是将该微波炉送修，维修人员却说没有故障，而且放到邻居家里试机也正常。曾经怀疑电表箱功率容量不够，不过家里的2200W电热器却一直工作正常。这是什么原因？怎么解决？（辽宁　蔡业生）

A 问题很可能出在连接于微波炉的电源线或电源转接器（电源插座板）上，通常以后者更为多见。由于电源线老化或电源转接器不良，微波炉开机后就会造成电源电流剧增而使电表（配电）过载跳闸。检修时可重点检查连接微波炉的电源线路和电源转接器。如果电源线路没有老化，应该拆开转换器细查，发现螺丝或连接线松动、脱焊的务必纠正，多余的导线要去除，实践中曾经发现有的转换器内部连线松动，当微波炉插头插入后就造成电源两端短路，从而引起跳闸等现象，所以务必要重视这点。倘若转换器也正常，基本就是电表箱内的漏电保护器误动作所致，可联系供电局予以调换。（王德沅）

Q 我家的一台挂壁式空调器安装1年多来运行一直正常，但是最近使用遥控器操作时发现，其液晶显示屏上的全部字符都显示出来了，而且按动所有按键都不起作用，这是什么原因？如何解决？（云南　刘步南等）

A 造成这种故障的主要原因有三，一是电池电量不足或接触不良，二是遥控器受潮、进水或被电池漏液侵蚀，三是液晶显示屏或集成电路损坏。对于第一点，只要排除电池接触不良问题或换新电池就能解决。应注意，有些人看到显示屏能显示就以为电池电量充足，这其实是不对的。若电池正常，就该检查第二点，如发现漏液或水迹等，可用无水酒精清洗。如果以上两点都没问题，很可能就是显示屏或集成电路损坏，但一般不多见。（王德沅）

Q 一台开关稳压电源中的整流二极管UF4007被烧坏，但本地购不到这种二极管，不知可否用常见类似型号的1N4007代换？如果不能，请提供可代换的管子型号。（南京　诸爱华等）

A UF4007不能用1N4007代换。两者型号虽然相似，但是特性不同。UF4007的反向恢复时间t_{rr}为0.075μs，最大反向峰值电压1000V，最大平均正向电流1A，属于“特快速”二极管，一般用于几十到几百千赫兹工作频率下的高压整流。而1N4007的t_{rr}为30μs，是普通二极管，通常用于工频、低频下的高压整流，如果用来代换UF4007，就会过热而损坏。在一般开关电源或充电器电路中，可用FR157、1N4948、BYV26E、MUR1100等管直接代换UF4007。（王德沅）

自己动手维修手机充电器

◎余俊芳

手机几乎是人手一个，其充电器也不例外，并且损坏率也比较高，本文以中天1688型手机充电器为例介绍其原理和维修方法。该充电器采用开关电源，具有充、放电功能（新电池开始启用通常需充、放电两次效果较好），充电完毕后，能自动停止充电，且有对应指示灯显示功能。由于没有该充电器电路图，笔者只好根据实物绘出电路图，如附图所示（图中元件编号为笔者所注）。

一、工作原理

将充电器插头插入市电插座后220V市电经R1限流、VD1～VD 4全波整流、C4滤波后得到约300V直流电压，一路经启动电阻R2加至开关管VT1基极，另一路经开关变压器T1的3、4绕组和电感L加至开关管c极（R24为阻尼、高压吸收电阻，防止在开关管截止时高压将开关管击穿），于是VT1的c极有电流输出，电流由小变大，同时反馈绕组1、2的正反馈电压也经R4、C2反馈至VT1基极，使VT1迅速饱和导通。接下来电流由大变小，反馈绕组1、2的电压极性反转，使VT1迅速截止，然后重复上述过程，从而进入振荡状态。R3、VD6、VT5构成过流保护电路，当电源输出过流时，R3上端电压将会升至1.5V以上，通过VD6使VT5饱和导通，将开关管VT1基极电位钳位至几乎为零，从而使开关电源停振，使电源得以保护。

图中R4、C2的数值决定VT1的导通时间，即开关变压器次级5、6绕组输出电压大小。图中VD5、C3、VDZ1构成稳压控制电路，使开关变压器次级5、6绕组输出电压稳定。当变压器次级有正常输出电压时，电源指示发光二极管LED1（复合型）中的红色管点亮，表示电源正常，输出电压将对充、放电电路供电。将充电器电源插头插入手机充电插口时（此时充电器已接市电），如果用手按一下有自锁功能的微动开关S，使之断开（若已断开，则不需按S），则VT2导通，VT3（PNP管）也随之导通，手机电池通过VT3的c、e极、R23放电，此时放电指示二极管点亮，LED1变为发橙光（实际上是内部绿色管点亮。由于红、绿管同时点亮，故LED1对外发橙色光），此时由于VT2导通，将ICB（LA6358）6脚拉至低电平，5脚电平大于6脚电平。根据运算放大器特性可知，其输出端7脚输出高电平，使VT4（PNP管）截止，充电输出电路断开。

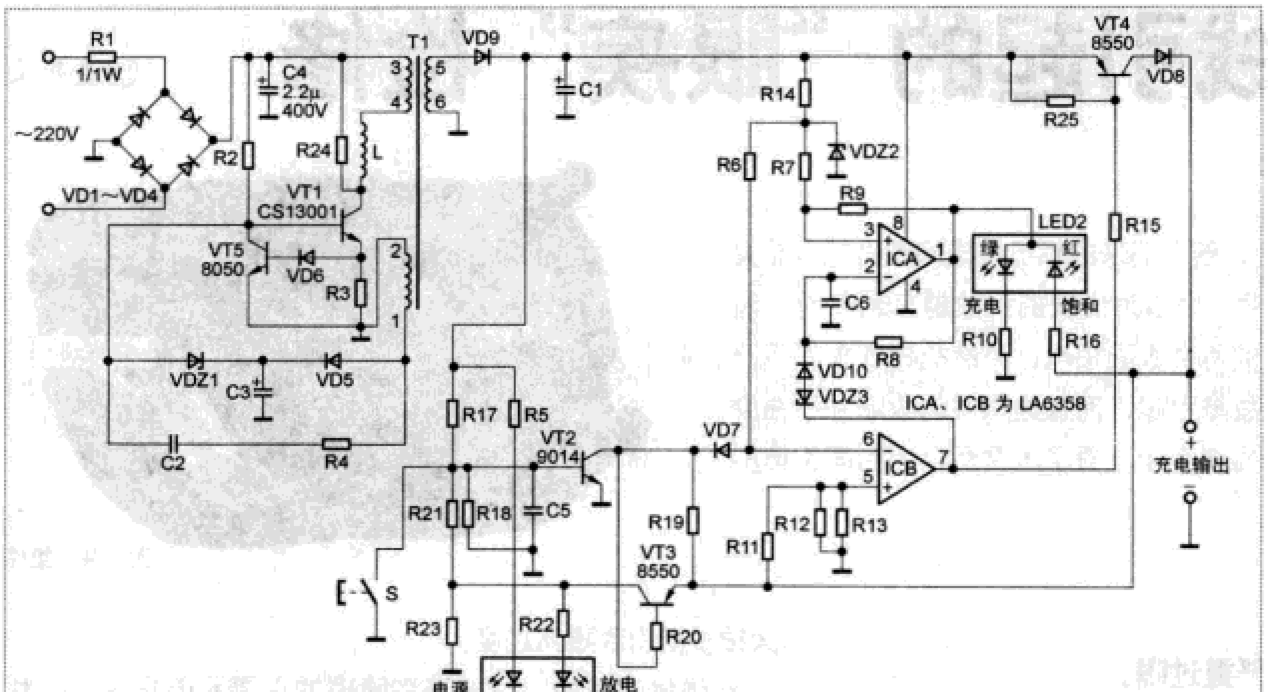
在放电过程中按一下微动开关S（使之闭合）或手机电池电压低于2.8V时，VT2、VT3将会截止，放电过程随即结束。此时放电指示灯熄灭，LED1恢复发红光。ICB的6脚电平由低变高，并大于5脚电平，故输出端7脚输出低电平→输出控制管VT4导通，开关变压器次级输出电源通过VT4的c、e极、VD8对电池充电。VD8是防电池倒流至电源的隔离二极管。由于ICB的7脚输出低电平，故ICA（LA6358）的2脚为低电平，同相输入端3脚电平大于2脚电平，所以1脚输出高电平，LED2内的绿色发光二极管点亮，表示正在对电池充电。随着充电的进行，电池两端电压逐渐升高，经R11使ICB同相输入端5脚电位不断升高，故输出端7脚电位不断升高，当达到动作阈值（即电池充足）电压后，稳压管VDZ3齐纳击穿，并经二极管VD10加至ICA反相输入端2脚，由于同相输入端3脚电压被稳压管VDZ2钳位保持不变。此时2脚电压大于3脚电压，故输出端1脚输出低电平。因此绿色充电指示灯熄灭，表示充电已经饱和。指示灯（即LED2内的红色指示灯）被点亮，指示充电已经结束。与此同时，ICB的7脚输出的高电平将会使VT4截止，切断充电回路。

二、常见故障检修

该充电器常见故障主要有：

1. 不能充电，电源指示灯也不亮。

该故障可能是开关电源停振。可先查开关管VT1的c极是否有300V。如果没有，应先查C4（2.2μF/400V）是否击穿、R1、桥式整流二极管VD1～VD4是否正常。如果正常，就要检查电源启动电阻R2（270kΩ）是否开路或变值、开关管VT1（CS13001）是否损坏。若VT1击穿损坏，通常还会连带损坏过流保护电阻R3。如果VT1未损坏，就要检查保护三极管VT5、电阻R3及过流信息传递二极管VD6等是否损坏。如果经上述检查未发现异常，就要检查正反馈电路元件R4、C2是否有问题，以及由VD5、C3、VDZ1等构成



附图：中天 1688 型手机充电器电路原理图

的稳压电路是否有元件损坏。常见故障点是过流保护电阻R3和电源启动电阻R2开路或变值增大。

2. 电源指示灯亮，但不能充电（绿色充电指示灯不亮）。

绿色充电指示灯不亮，说明ICA的1脚未输出高电平，首先应查ICB的7脚是否输出了低电平。如果没有，应查6脚电压是否大于5脚电压。如果不是的话，就要检查VT2或VT3是否击穿，电阻R14、R6是否开路或焊点出现裂纹。如果查得ICB的6脚电压大于5脚电压，但7脚不是低电平，则可能是ICB损坏。可用LM358或TA75358P低功耗双运放更换。假若ICB的7脚已经输出了低电平，接下来就应查ICA的3脚电平是否大于2脚电平。如果不是，就要检查稳压管VDZ2是否击穿，3脚电压引入电阻R14、R7是否开路或焊点出现裂纹。假若ICA的3脚电平大于2脚电平，但1脚输出的却是低电平，则是ICA损坏，可用上述型号运放IC更换。常见故障点是R14开路和运放LA6358损坏。

3. 绿色充电指示灯能点亮，但实际却不能充电。

绿色充电指示灯能点亮，说明ICB的7脚已输出了低电平且ICA的1脚也已输出了高电平，此时不能充电只能是电流输出控制管VT4或隔离二极管VD8出现开路性损坏，当然，也有可能是充电器充电输出插头与手机电源插口接触不好。可用万用表查电源输出插头是否有约6V输出电压（空载测量值）即可甄别。

4. 接上市电，将充电插头插入手机充电插孔后橙色放电指示灯一直点亮。

放电指示灯点亮，说明放电控制管VT3已经导通，首先应检查轻触微动开关S是否因内部触点导电层已经脱落致使开关始终处于开路状态。若不是这样，有可能是VT2或VT3的c、e极击穿。当然，也不排除它们的偏置电路元件出现故障的可能性，通过检测会很快发现故障点，这里不再赘述。

5. 电充足后，充电饱和指示灯不亮，绿色充电指示灯不熄灭。

电充足了，充电指示灯不能熄灭，充电饱和指示灯不能点亮，说明 ICA 的 1 脚输出的是高电平。该故障应先查 LA6358 的 2 脚与 3 脚电平，看是否 2 脚电平大于 3 脚电平。如果不是，就应查 LA6358 的 7 脚电平是否为高电平。如果不是，接下来就应查 LA6358 的 5 脚电平是否大于 6 脚电平。若不是，很有可能是 R11 开路，若是，则是 ICB 损坏。如果测得 LA6358 的 7 脚已输出了高电平，但 LA6358 的 2 脚电平仍低于 3 脚电平，则极有可能是 VDZ3 或 VD10 出现了开路性故障或 C6 出现了击穿性故障。若测得 2 脚电平大于 3 脚电平，则可认定是 ICA 损坏。更换 LA6358 即可排除故障。

三、故障检修实例

例1 接通市电后，电源指示灯不亮，也不能充电。

经查，开关管 VT1 集电极有 300V 直流电压，但基极电压为零。怀疑电源启动电阻 R2（270kΩ）损坏。焊下，检查，果然已开路。用功率为 2W 的同阻值电阻更换（原为 1W）后，故障排除。

例2 接通市电后，电源指示灯点亮，但绿色充电指示灯不亮。

检查发现ICB的7脚未输出低电平，再测反相输入端6脚电平，发现几乎为零，顺藤摸瓜，查出是6脚外接偏置电阻R6一个引脚的焊点已出现一圈裂纹。重焊后故障消失。

例3 电池电充足了，但绿色充电指示灯不能熄灭，同时红色充电饱和指示灯不能点亮。

测量ICA的1脚输出的始终是高电平，查反相输入端2脚电平大于同相输入端3脚电平，按照运放逻辑输出端应输出低电平，显然运放LA6358已经损坏。用LM358更换后，故障不再出现。

快门控制线引起的“眼疾”检修

◎潘邦文

时下数码相机保有量越来越大，随之而来的相机维修问题也就日益突出。以前的一些小概率故障，也因为出现的例数越来越多而引起维修人员的重视。笔者近日维修的两台数码相机，虽然故障现象并不一样，但是同样都是由快门控制线故障引起，而且这烈性的故障并不在少数，故撰文与广大读者分享。相信读者朋友看了本文后，遇到同类型的故障也能自己动手排除。

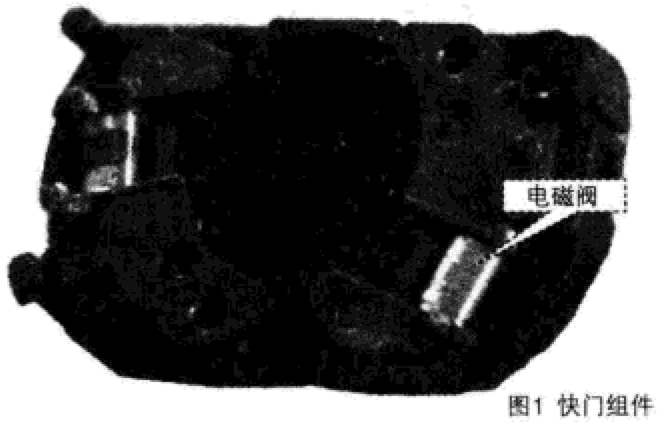


图1 快门组件

故障1：能正常取景，但照片严重过曝。

一台宾德Optio 33LF相机，可以正常取景，但拍出来的照片严重过曝。能正常取景，说明相机各单元电路基本处于正常工作状态。但为什么拍下来的照片却会过曝，甚至把照片放大后能看到明显横纹呢？

原来，正常情况下，在按下快门释放按钮后，相机发出指令，关闭CCD前面的遮光叶片（此叶片并非是传统意义上的快门，但相对于由电子开关控制曝光时间的“电子快门”而言，它是一个机械装置，而且具有瞬间开合的特性，因此习惯上称之为数码相机的机械快门）。此时CCD从取景时的曝光状态转为拍照前的“清零”状态。即CCD处于被快门遮光后的暗室中，同时CCD的后续电路将CCD曝光时产生的残留信号（电荷）清除。然后重新打开遮光叶片，CCD正式拍照曝光。如果这一环节不能顺利完成，即CCD上的残留电荷尚未清除，就进入正式曝光环节，则正式曝光时产生的电荷与残留电荷叠加，导致实际输出的信号强度比正常曝光的信号大很多而引致曝光过度。

在维修实践中，造成清零障碍的主要原因是快门叶片无法关闭，无法使CCD处于暗室中进而导致CCD持续曝光而产生电荷饱和现象。快门组件通常是由两个微型电磁阀（图1）驱动的，电磁阀和驱动电路之间是由一根细细的四芯排线（我们称之为快门控制线）连接。镜头是相机中活动最为频繁的部件，镶嵌在镜头中的快门组件常常跟随镜头伸缩而做往返运动。长期的活动可导致快门控制线的物料疲劳而断裂或者焊点脱焊。

除快门组件外因为镜头尚有变焦电机、对焦电机、霍尔元件等器件，所以主板到镜头的排线的芯线数目较多。快门控制线就是由主排线上分出的一个分支，分支处往往有焊点。因为快门组件在镜头内部，其控制线必然也延伸至镜头内部。而变焦电机、对焦电机通常在镜头外部，所以根据排线的循行位置不难把快门控制线和其他分支区分出来。找到快门控制线后就用万用表电阻挡或蜂鸣器挡测量分支处的焊点。

为了便于描述快门控制线的线序与电磁阀的关系，笔者

图2

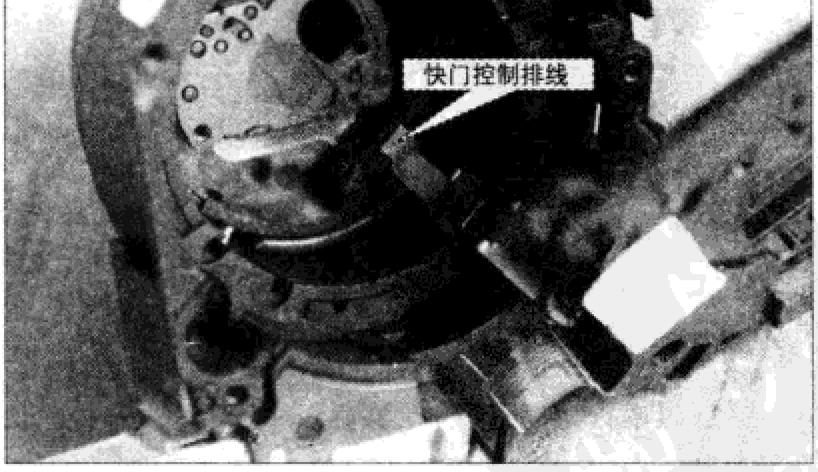


图3

姑且把四根芯线从任一侧开始按顺序编号为1、2、3、4。其中1、2连接一个线圈，3、4连接另一个线圈。所以在正常情况下测量1跟2是相通的，3跟4也是相通的。若一组不通，则说明排线部分断裂，若两组均不通，则说明完全断裂。

笔者维修Optio 33LF时，测量两组焊点是相通的，说明线圈和快门控制线均没有断路。但是笔者判断本机故障是因快门组件不动作引起的，于是笔者上电试机，对着镜头按快门释放按钮，发现镜头内部没有“眨眼”动作（遮光叶片关闭瞬间又再打开），说明笔者的判断正确。于是笔者再仔细观察排线分支处的焊点，发现某一焊点在两根排线的接缝处存在疑似细缝（图2）。用万用表测量该焊点的两端，阻值无限大，果然开路。用细铜丝“搭桥”焊接此焊点后，将机器装回原样，故障排除。

故障2：能显示菜单，但无法取景、拍照。

一台三星ST50相机，开机后能显示菜单，系统信息能回放以前拍下的照片，但屏幕中看到的“景物”是黑乎乎的，此时强按快门释放按钮，拍下的照片也是黑乎乎的，这说明相机的显示系统是正常的。当时笔者也不好判断是哪里出了问题，因为有很多原因都能导致该问题的出现。笔者只好先易后难，对着镜头按下快门释放按钮，发现此机器也没有“眨眼”动作。莫非镜头内的遮光叶片关闭后就再也没有打开，导致相机无法取景、拍照？于是笔者打开外壳，取下CCD组件，对着光亮的地方，从镜头一侧往另一侧看，发现相机镜头果然是不通光的，也就是说遮光叶片一直是关闭的。笔者测量快门控制线的焊点，发现任意两个焊点间的阻值为无限大。于是拆开镜头探查，发现快门控制线已经完全断裂（图3）。更换同规格排线后将机器复原，故障排除。

维修小贴士

1. 焊接排线前，必须先把镜头总排线拔离主板，以防静电损坏主板。

2. 快门组件体积细小，而且大部分构件为塑料。焊接快门组件时，必须瞬间完成，如果一次点焊不理想，须待该焊点冷却后再焊接。焊接完一个焊点后，也需稍等片刻，使焊点冷却后，再焊另一个焊点，以防长时间的焊接使塑料融化、变形，从而导致快门组件报废。

3. 总排线与快门控制线连接处的焊点脱焊后往往比较难用肉眼分辨。用万用表测量快门控制线及电磁阀通断时，须考虑万用表表笔测量点落在同一焊点的不同位置（总排线端和快门控制线端）时，存在测量结果不一致的可能。例如，如果两排线接合处的焊点有细缝，则测量焊点的快门控制线端时是通的，而测量焊点的总排线端时是断的。故障一中的Optio 33LF即属于这种情况。

4. 在初步判断为快门控制线故障时，可在光线较好的地方强制相机拍照，仔细观察镜头内部有否“眨眼”动作来检验初步判断。

5. 总排线与快门控制线连接处的焊点脱焊后，补焊时最好用一根细铜丝跨接缝处“搭桥”焊接，避免在两根排线不同应力的长期作用下焊点再次开路。

6. 镜头的结构复杂，零件精细。因此拆卸镜头前，必须仔细观察镜头各配件的位置关系，必要时用细记号笔做好标记，或者用相机拍照记录，方便装嵌时参考。拆下的配件应及时放在清洁的元件盒内，以免污染、丢失或磨损。

清除喷墨打印机墨盒打印口堵塞的又一方法

◎王绍华

喷墨打印机若长期不用，墨盒打印口堵塞而无法打印是一个常见故障，即使是新墨盒，若放置时间过久，也会出现同样故障。

最近，我家的惠普hp3325喷墨打印机由于一段时间未用，出现喷墨打印口堵塞不能打印的故障。将27号黑色墨盒取下，用水浸泡数小时，无效。有报刊介绍过用超声波振动水可清除打印口堵塞，于是将墨盒拿到眼镜店（眼镜店有清洗镜片污垢的超声波振动水），试用超声波振动水清洗，仍无功而返。看来可能是打印喷墨孔严重堵塞，采用普通办法不行，决定用沸水试一下。将墨盒放置在茶杯中，再注入约100℃的热水浸泡（不要将墨盒上部淹没，以防墨水渗出）约半小时。取出墨盒，用餐巾纸将上面的水渍擦拭干净，又用纸在墨盒打印口仔细擦拭，终于看到纸上出现黑色，说明堵塞故障已排除。将墨盒安装好，试打印，一行行黑色文字跃然纸上，故障终于排除。现撰此文，将该方法介绍出来，愿与读者共享。

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 有一台电脑的USB接口没有插任何东西，却在任务栏显示有一个可移动磁盘标志，就像插入了一个闪盘时的状况那样，不知什么原因？怎么才能删掉它？

（湖北　孙华梁）

A 造成这种故障的主要原因有两个：一是先前在电脑的后置USB插口插入了读卡器等USB设备而忘了拔出来，由于在机箱后面不易被发现，故以为没插东西。二是采用USB集线器的电脑，其USB－HUB损坏或与电脑的USB端口接触不良，对此，只要拔出集线器插头，清除污垢和氧化物，重新插入并保证接触良好就可，若损坏，则应换新。如以上均正常，那么基本上就是电脑USB插口内部的问题了，但一般较少见。

（王德沅）

Q 我有一个额定电压6V、电流为1.2A的直流电机，用一台电脑的USB端口输出作为其供电电源，电机能够运转，但是过了一段时间之后，电脑任务栏中突然提示“集线器端口电涌”，同时电机停转，为什么会发生这种现象？如何避免？

（福建　张劲）

A 电脑任务栏中显示“集线器端口电涌”，其主要原因是电脑USB 插口电源过载或短路了。由于通常 USB 端口提供的电源是 5V/0.5A，如果将额定电流远大于 0.5A 的 USB 设备插入端口，就会使端口过载，自动切断端口电源，同时提示“集线器端口电涌”。所以，使用 USB 端口时，务必注意外接设备耗电不要超过 5V/0.5A。特别是超耗的所谓 USB 台灯、电机和电风扇等绝对不要用在普通电脑上，否则不但工作不可靠，还可能引起电脑内部电路损坏。（王德沅）

Q 一台电脑突然不能上网了，检查网线连接和MODEM等都正常，怀疑网卡损坏，但是查看网卡印制板及其RTL8139芯片等元器件都没什么异样，不过对一个标注为PPT 0417　PM45-1030的元件吃不准，不知是什么元件？它有十几个引脚，但只有6个引脚与网卡电路连接，实测电阻都很小，是否这个元件损坏？

（内蒙古　费易楷）

A （PPT 0417）PM45-1030是一种微小型网络隔离变压器，主要应用在网卡电路中。在6个与网卡电路连接的引脚中，其中与网线连接的4个端点的正、反向电阻正常为几欧姆，与网卡内电路连接的2个端点正、反向电阻都是几欧姆。如果没有经过不当拆装或高压冲击等，通常PM45-1030的损坏几率很小。实践表明，网卡多发故障大都为（EEPROM）串行存储芯片93C46或主芯片RTL8139不良所致。

（王德沅）

Q 我们家里几年前安装了有线电视系统，当时只有一台电视机在使用，最近又添置了一台彩电放在另一间房中，应该怎么连接？ 有的邻居用三通转换插座连接，但是效果不太理想，不知是连接问题还是其他因素造成的？

（浙江　李丰华）

A 通常不宜用三通插座连接，因为三通插座实际是一个简单的并联电路，这样连接两台电视机的射频输入端，可能会引起电视机互相干扰，并且影响阻抗匹配，导致其中一台或两台电视机信号强度不够，或出现雪花、网纹、条纹等干扰，明显影响收看效果。通常可用线路分配器来解决多台电视机的连接。分配器的作用是：将有线电视的射频信号均等地分配到两个或多个输出端上去，根据输出端的多少可分为二、三、四、六分配器等，其输入、输出阻抗都是75Ω。一般家庭可选用二－四分配器，它具有三个输出端（可连接三台电视机）的FP-306J等。

（王德沅）

Q 一台美的柜式空调用了多年一直正常，但是前些天突然发生遥控失灵的故障，当地维修部派员上门检修，认为是遥控接收头损坏了，但因为是老产品，没有相应配件，只能想其他办法，一时无法修好。难道该空调就因一个小小的接收头异常就报废吗？不知有没有其他办法能够修好它？

（河北　夏俊伟）

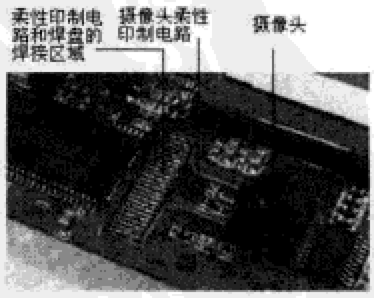
A 这种故障大都是遥控接收头电路因受潮等原因，使电路短路或漏电而引起的。检修时，通常可拆卸面板，用电吹风对着接收头区域吹热风，一般吹1~3分钟即可使空调恢复正常。实践表明这种办法对许多空调行之有效。此外，也有少数空调是接收电路损坏所致，对此，可查输出端滤波电容，如果正常，通常就需调换接收头了。不少空调的接收头可用常见的SM3381接收头直接代换。

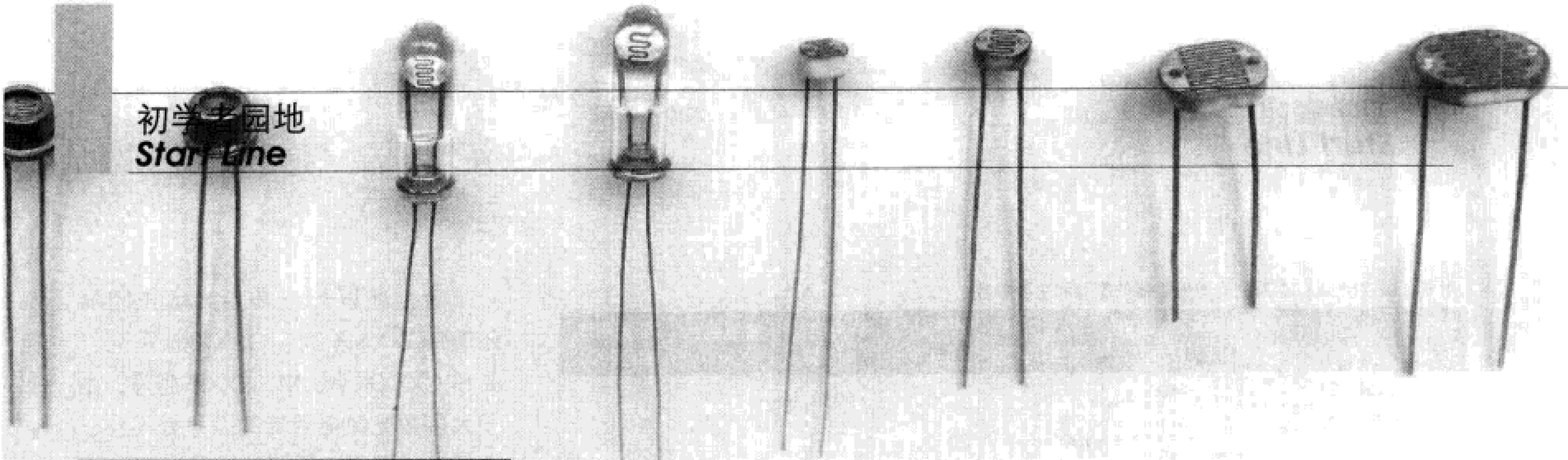
（王德沅）

Q 一款爱魅CT-520型MP4数码播放器，播放图声都正常，但是摄像功能失效，这是什么原因？如何解决？

（天津　范礼）

A 爱魅CT-520型MP4播放器采用瑞芯微RK2708主芯片，内置一个130万像素摄像头。该机的摄像模块包含CMOS摄像头、光学透镜、控制芯片和柔性印制电路（FPC）等，其引出线即FPC，它的端头与印制板相应的“焊盘”直接焊接，如附图所示。这种连接方式容易产生脱焊或断裂等问题，从而导致摄像功能失效。如发现脱焊或断裂现象，只要重新焊好即可。如果连接正常，就可能是摄像头电源电压异常或摄像模块损坏。　（王德沅）





常用元器件的识别与使用（十四）

◎张晓东

无极性的光敏电阻器

光敏电阻器简称“光电阻”或“光导管”，它是一种电阻值能够随光照强度变化而变化的特殊敏感电阻器件。跟光敏晶体管一样，光敏电阻器也是由半导体材料制作而成,.其不同处在于它没有PN结（故也称无结器件），两个引脚也无极性之分，使用起来更灵活、更方便。

光敏电阻器的用途非常广泛，在各种光的测量、光的控制及光电转换等电路中都得到了普遍应用，在生活用电子小产品（如光控玩具、光控开关等）中的应用比光敏晶体管要普遍得多。因此，作为电子爱好者，必须掌握光敏电阻器的基本识别与使用方法。

如何识别光敏电阻器

1. 外形和种类

常用光敏电阻器的实物外形如图1所示，其外形封装形式主要有金属管壳封装、玻璃管壳封装和塑料树脂封装3大类，引脚普遍为2根。金属封装管的顶端开有玻璃透光窗口，其性能好、价格较贵；玻璃封装管的管帽多呈凸透镜状，具有一定的会聚光线作用，可提高光照灵敏度；塑料树脂封装一种与玻璃封装管外形相同，另一种则是在固定管芯及引脚的陶瓷基片上直接涂一层防潮环氧树脂而成（常称非密封型结构），它价格便宜、使用最普遍。光敏电阻器的外形特征比较明显，其管芯受光面一般均有独特的波浪型曲线花纹。

光敏电阻器按制作材料不同，可分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器两大类。按材料名称还可分为硫化镉（CdS）、硒化镉(CdSe)、硫化铅(PbS)、硒化铅(PbSe)、锑化铟(InSb)光敏电阻器等。从光敏电阻器对不同光线的敏感程度来划分，有常用的可见光光敏电阻器，有特殊用途的红外光光敏电阻器和紫外光光敏电阻器等。

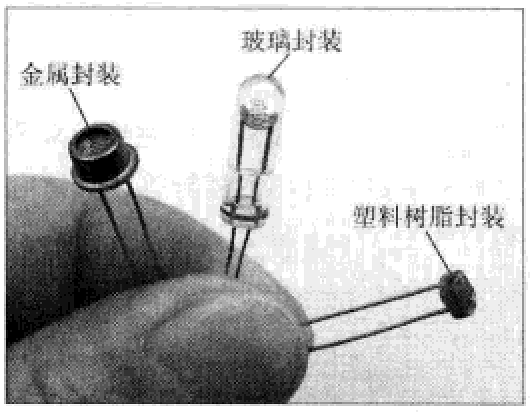


图1 常用光敏电阻器的实物外形图

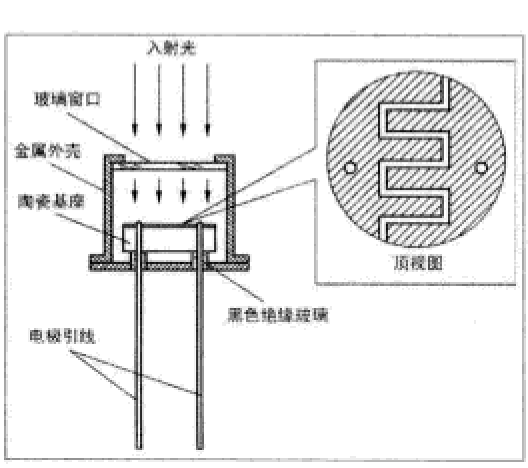


图2 光敏电阻器的结构图

2. 结构及特点

金属管壳封装的光敏电阻器结构如图2所示。光敏电阻器的管芯一般是在装有引脚的陶瓷基片上涂上光导电体（如硫化镉多晶体）并经过烧结而成。因管芯怕潮湿，所以采用全密封结构或在其表面涂防潮环氧树脂（非密封型）。管芯中光导电体的膜越长，面积越大，受光后，其电阻值变化也越大。因此，一般都把光导电体膜做成弓字形（蛇形状），使两电极成为交叉的梳状。目前，用量最大的光导电体材料是硫化镉（CdS），且掺有少量铜、银等杂质，以有效提高产品的光灵敏度。

光敏电阻器作为一种无结（即PN结）器件，其光敏特性主要利用了光导电体（即半导体）的光致导电特性。在受到光照时，光导电体会被激发产生空穴和自由电子（统称光生载流子），并在外加电场的作用下作相向漂移运动，电子奔向电源的正极，空穴奔向电源的负极，从而使光导电体的电阻率发生显著变化。即：光敏电阻器的电阻值会随入射光线的强弱而改变，入射光线越强，电阻值越小，入射光线越弱，电阻值越大。利用这一特性，可对各种“光”信号进行检测，并通过专门的处理电路，完成电子自动检测、光电控制、通信、报警等任务。

附表　国产MGXX-XX系列光敏电阻器的型号和主要参数

<table>
<tr><th>封装形式</th><th>型号</th><th>100lx亮阻 R_L(kΩ)</th><th>0lx暗阻 R_D(MΩ)</th><th>最大工作电压U_{RM}(V)</th><th>额定功率 P_M(mW)</th><th>响应时间 t_r(ms)</th><th>峰值波长 λ_p(nm)</th><th>使用环境温度(℃)</th></tr>
<tr><td rowspan="12">金属壳全密封型</td><td>MG41-21</td><td>≤1</td><td>≥0.1</td><td rowspan="4">100</td><td rowspan="4">20</td><td rowspan="6">≤20</td><td rowspan="6">620~630</td><td rowspan="6">-40~+70</td></tr>
<tr><td>MG41-22</td><td>≤2</td><td>≥1</td></tr>
<tr><td>MG41-23</td><td>≤5</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>MG41-24</td><td>≤10</td><td>≥10</td></tr>
<tr><td>MG41-47</td><td>≤100</td><td>≥50</td><td rowspan="2">150</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>MG41-48</td><td>≤200</td><td>≥100</td></tr>
<tr><td>MG42-02</td><td>≤2</td><td>≥0.1</td><td rowspan="4">20</td><td rowspan="4">8</td><td rowspan="4">≤50</td><td rowspan="6">520~590</td><td rowspan="6">-25~+55</td></tr>
<tr><td>MG42-03</td><td>≤5</td><td>≥0.5</td></tr>
<tr><td>MG42-04</td><td>≤10</td><td>≥1</td></tr>
<tr><td>MG42-05</td><td>≤20</td><td>≥2</td></tr>
<tr><td>MG42-16</td><td>≤50</td><td>≥10</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">≤20</td></tr>
<tr><td>MG42-17</td><td>≤100</td><td>≥20</td></tr>
<tr><td rowspan="14">塑料树脂封装（非密封型）</td><td>MG44-02</td><td>≤2</td><td>≥0.2</td><td rowspan="4">20</td><td rowspan="4">5</td><td rowspan="14">≤20</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="14">-40~+70</td></tr>
<tr><td>MG44-03</td><td>≤5</td><td>≥1</td></tr>
<tr><td>MG44-04</td><td>≤10</td><td>≥2</td></tr>
<tr><td>MG44-05</td><td>≤20</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>MG45-12</td><td>≤2</td><td>≥1</td><td rowspan="3">50</td><td rowspan="3">10</td><td rowspan="10">560~580</td></tr>
<tr><td>MG45-13</td><td>≤5</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>MG45-14</td><td>≤10</td><td>≥10</td></tr>
<tr><td>MG45-32</td><td>≤2</td><td>≥1</td><td rowspan="4">150</td><td rowspan="4">50</td></tr>
<tr><td>MG45-33</td><td>≤5</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>MG45-34</td><td>≤10</td><td>≥10</td></tr>
<tr><td>MG45-35</td><td>≤20</td><td>≥20</td></tr>
<tr><td>MG45-52</td><td>≤2</td><td>≥1</td><td rowspan="3">250</td><td rowspan="3">200</td></tr>
<tr><td>MG45-53</td><td>≤5</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>MG45-54</td><td>≤10</td><td>≥10</td></tr>
</table>

由于不同材料、不同掺杂和不同工艺制成的光敏电阻器，具有在特定波长的光照射下，其电阻值随入射光线强弱变化最为灵敏的特性（也就是说具有不同的光谱特性），所以常见产品有可见光光敏电阻器、红外光光敏电阻器和紫外光光敏电阻器等之分。

3. 型号命名规则

光敏电阻器的型号命名方法五花八门，其中最常见的国产MGXX-XX系列由4部分组成，其中：第一部分是主称，用汉语拼音字母M表示敏感元器件；第二部分是类别，用汉语拼音字母G表示光敏电阻器；第三部分是用途或特征，用数字1～3表示紫外光光敏电阻器，用数字4～6表示可见光光敏电阻器，用数字7～9表示红外光光敏电阻器，用0表示特殊光敏电阻器，第四部分是产品规格和序号，格式为“X-XX”（X均为数字），主要用来区分有关参数和规格的差异等，具体可参见附表。

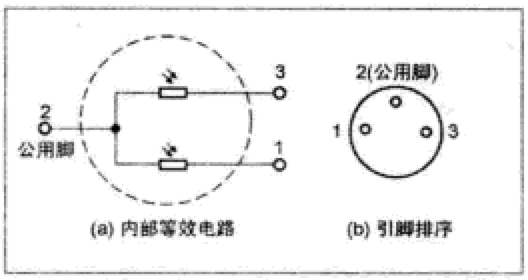


图3 具有3个引脚的光敏电阻器

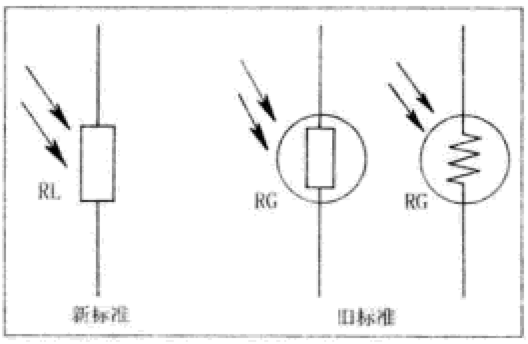


图4

除上述以外，常用光敏电阻器还有RGXXX系列、GLXXXX系列、JN54CXXX系列、MJ55XX系列等。由于大多数光敏电阻器的型号都不会、也无法在管壳上面标注出来，所以要知道产品的型号，就只能查看产品包装及其说明书。对于无包装或说明书的光敏电阻器，通常不一定非要弄清楚它的型号，只要测试出关键的亮电阻R_L、暗电阻R_D等参数，一般就可根据需要进行应用了。

4. 引脚识别方法

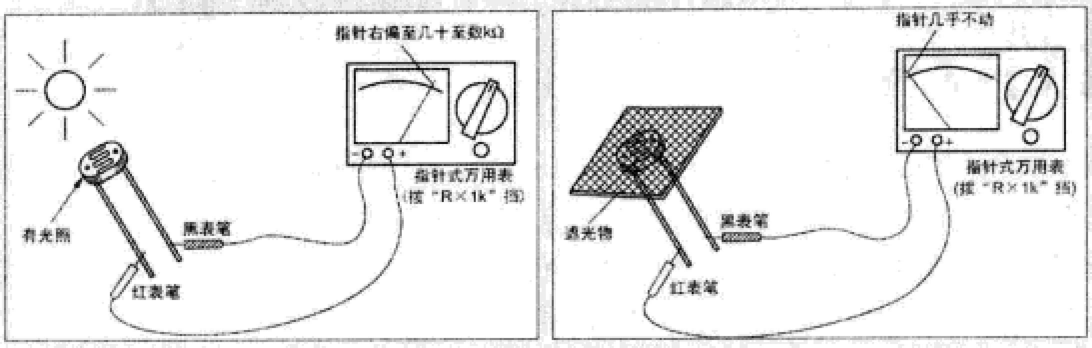
由于光敏电阻器的引脚无极性，所以它的两根引脚线排列是无位序的。在实际应用时，只要将两根引脚（无倒顺之分）接入电路中即可，这较之光敏二极管和光敏三极管来说，使用起来更加方便。

但应注意的是，有的光敏电阻器具有3个引脚，它实际上是将两个光敏电阻器组装在了同一个外壳中，其常见型号有MG41-2×10B、MG41-2×10C、MG41-2×12、MG41-2×13、MG43-2×42、MG41-2×43型等，它们的内部电路接线和引脚识别如图3所示。在实际使用时，不可弄错公用脚。

如何使用光敏电阻器

1. 简易测试方法

首先，按照图5（a）所示，将指针式万用表置于“R×1k”电阻挡，红、黑表笔分别接光敏电阻器的两个引脚（无极性之分），并将光敏电阻器的感光窗口朝向光源（太阳光或照明光）。这时，万用表的指针一般应向右偏转至几十至几千欧姆处——此值即为光敏电阻器的亮电阻。然后，按照图5（b）所示，用一遮光物（如黑纸片、钢笔帽等）将被测光敏电阻器的感光窗口遮住，则万用表的指针



(a) 有光照　(b) 无光照

图5 测试光敏电阻器的性能

应立即左偏至高阻值位置（如果跟测试阻值前指针的静态位置对比，则指针多数情况下几乎不动）——此值即为光敏电阻器的暗电阻。

上述测量中，亮电阻和暗电阻的差别越大，说明光敏电阻器的灵敏度越高。如果测得的亮电阻值很大甚至无穷大，则说明光敏电阻器内部已经开路损坏，如果测得的暗电阻值很小甚至接近零，则说明光敏电阻器已击穿损坏。

2. 使用常识

（1）光敏电阻器实际上是一种半导体传感器件，但习惯上人们把它归类于特殊的电阻器。光敏电阻器的主要特点是灵敏度高、体积小、重量轻、电性能稳定、寿命长、可以交直流两用，而且制作工艺简单，价格便宜等。但其响应速度较之光敏二极管和光敏三极管慢，因而影响了它在高频率下的使用。

（2）选用光敏电阻器必须把握各种产品的特点和不同处，做到合理运用，以发挥出良好性能。例如：一般的日常用电子制作，可选用价格不足 1 元的普通非密封型塑料树脂封装光敏电阻器，以降低制作成本；对可靠性要求高、且经常处于湿度较大的环境中的电子设备，应选用质量高、防潮性能良好的金属壳全密封型光敏电阻器（单价一般在 5 元以上）等。另外，为了保证光敏电阻器长期工作的可靠性，其额定功率应尽可能比实际承受的功率大一些；环境温度较高时，更应注意留有足够的功率余量。

（3）代换光敏电阻器时注意：必须尽可能地做到替代产品与原光敏电阻器的亮电阻、暗电阻、最大工作电压、额定功率等参数一致；同时，还要求光谱特性保持一致。对于可见光光敏电阻器、红外光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器等光谱特性不同的光敏电阻器，即使它们的亮电阻、暗电阻数值相同，也不能相互代换。如果允许不考虑价格和体积，那么全密封型的光敏电阻器（价格贵）可以取代非密封型的光敏电阻器，大功率（体积亦大）的光敏电阻器可以取代小功率光敏电阻器。

（4）在电子制作或维修中，如果手头一时没有所需亮电阻或额定功率的光敏电阻器，可以尝试用串联或并联的方法，“凑”出代用的光敏电阻器。例如：按图 6（a）所示，用 2 ~ 3 个电阻值小的光敏电阻器串联，可以得到大电阻值的光敏电阻器，串联后总的亮电阻（或暗电阻）等于各光敏电阻器亮电阻（或暗电阻）之和。按图 6（b）所示，用 2 个型号完全相同、电阻值较大的光敏电阻器并联，可得到亮电阻值（或暗电阻）较小的光敏电阻器，其总亮电阻（或暗电阻）为单个光敏电阻器的一半。无论串联还是并联，总的额定功率均为各光敏电阻器额定功率之和。这种组合的光敏电阻器在使用时注意，必须将各光敏电阻器紧凑、且固定在同一感光平面上，否则无法正常工作。

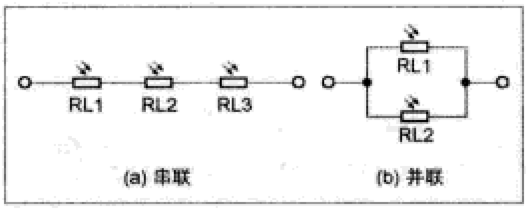


图6 光敏电阻器的替代法

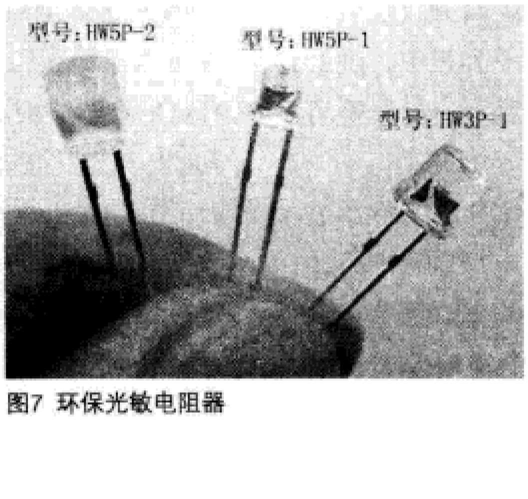
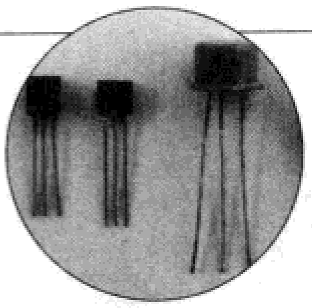


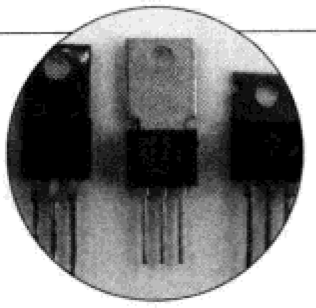
图7 环保光敏电阻器

（5）目前，市场上出现了一种新型的光敏传感器——环保光敏电阻器（又叫环境光探测器），它是国内电子厂家研制出来的符合欧盟环保新指令 ROHS 标准的新一代无镉光敏电阻器，其典型的型号有 HW3P-1、HW5P-1、HW5P-2、EKPS021C 等，外形如图 7 所示。这种环保光敏电阻器不含毒性较强的镉，可以在不改变原电路的情况下，直接替代原有的硫化镉（CdS）光敏电阻器，目前已成功地运用到小夜灯、光控开关、草坪灯、摄像头、光控玩具等各种光控系列产品中。

（6）在安装光敏电阻器时，必须注意将它的窗口直接对着光源，并注意受光表面的清洁，防止灰尘等的影响，以确保光线能良好地直射到芯片上，这样才能获得最高的光电转换灵敏度。如果有必要，可在光路中加装会聚光线的光学透镜，或给光敏电阻器加装反光镜，以提高光电转换灵敏度。

（7）实际应用时注意，不要让普通光敏电阻器长时间辐照紫外线或直射阳光，也不要在高温、高湿的环境下直接应用，以免影响使用寿命。另外，在清洁非密封型光敏电阻器时，不可用有机溶剂。





微控管实用制作八例

◎张晓东

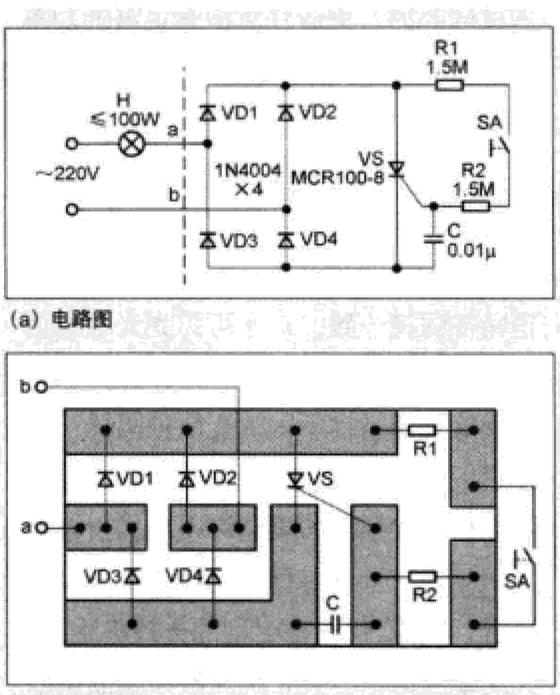
我们经常用到的小功率单向晶闸管中，有一些产品的控制极触发电流实测仅为10～100μA，具有非常高的触发灵敏度，电子设计人员通常将这样的管子通俗地简称为“微控管”——意为能够用微安级电流触发控制的单向晶闸管。

微控管体积小（多为TO-92封装，大小与普通9014晶体三极管完全一样）、价格便宜（单价≤1.5元），是初学者学习和实践晶体闸流管的首选。利用微控管触发灵敏度高的特点，我们可以设计制作出许多简单实用的电子装置来。

例一 安全型床头灯开关

床头灯开关具有使用灵活方便的特点，受到许多家庭的欢迎。由于普通的床头灯开关直接与市电相通，使用时不够安全，尤其是有小孩的家庭更让家长担忧！这里介绍的安全型床头灯开关简单易制，可有效解决这一问题。

安全型床头灯开关的电路如图1(a)虚线右边所示。整流二极管VD1～VD4和微控管VS组成交流开关主回路，高阻值的电阻器R1、R2（阻值均在1.5MΩ以上）和手动开关SA组成开关的控制回路。闭合SA，VS通过R1、R2获得触发电流而导通，被控电灯H即获得全波交流电正常发光；断开SA，VS在交流电过零时截止，H熄灭。由此可见，这里的“开灯”与“关灯”操作，与普通床头灯开关没有什么两样。但是连接SA的电线回路中串联有高阻值的保安电阻器R1和R2，有着较好的市电隔离特性。



(b) 印板图

图1 安全型床头灯开关

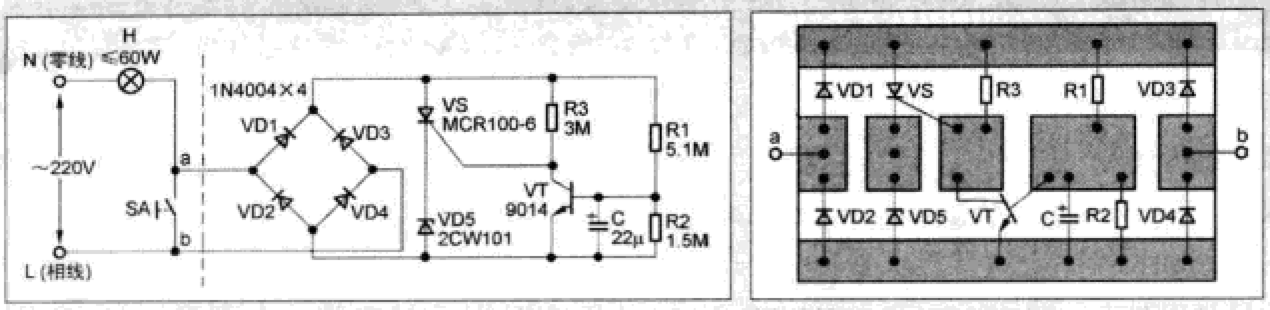
整个电路按照图1(b)所示焊接在尺寸约为40mm×25mm的印制电路板上。印制电路板可用刀刻法制作，并且不必钻孔。C用CT1型瓷介电容器，用来吸收微控管VS控制极的干扰脉冲，防止SA引线过长时外界感应杂波造成的VS频繁通断。R1、R2均用RTX-1/8W小型碳膜电阻器，注意阻值不得低于1.5MΩ。将元器件全部焊接在电路板有铜箔的一面，并选择或自制一个体积合适的绝缘小盒，将SA除外的电路板装固在小盒内。只要元器件质量有保证、焊接无误，电路不用任何调试便可正常工作。

实际应用时，将开关小盒固定在被控制照明灯H的附近或灯座腔内，其a、b两根引线头不分顺序串入被控制照明灯的相线（火线）回路中去，SA则通过双股塑皮电线引到床头处即成。注意：被控电灯的总功率不宜超过100W。另外，在加装开关小盒之前，必须先断开220V交流电的入户总开关，谨防触电！

例二 延时关灯控制器

给普通电灯开关（尤其是位置不易变动的壁式开关）加装下面介绍的延时关灯控制器，就可具有延时关灯功能，给我们的生活带来许多方便！如果将它安装于卧室中，晚上睡觉前我们就不用在关灯后摸黑上床；用于客厅、厨房等房间，可不必在关掉开关后摸黑走出房门。

延时关灯控制器的电路如图2(a)虚线右边所示，虚线左边是为便于说明原理而绘出的被控照明电灯原有电路。延时关灯控制器通过a、b两根电线跨接在照明电灯原有手动开关SA两端。闭合手动开关SA，电灯H通电正常发光。断开SA后，微控管VS通过限流电阻器R3获得了合适的触发电流而开通，电灯H并不因断开SA而马上熄灭。因VS主回路中串入了稳压二极管VD5，使VS开通后的管压降（约0.8V）和VD5稳压值相加产生约3.8V电压。此电压经电阻器R1对电容器C充电，使其两端电压不断上升。经过一段时间（延时时间），C两端充电电压达到0.65V以上时，晶体三极管VT获得合适偏压而导通，VS失去触发电流在交流电过零时关断，电灯H自动断电熄灭。此时，延时关灯控制器自身耗电甚微，实测总电流小于77μA。当再次闭合SA时，电灯H发



(a) 电路图 (b) 印板图

图2 延时关灯控制器外形图

光；同时，C两端所充电荷通过R2很快泄放掉，为下一次延时关灯做好准备。

整个电路焊接在如图2（b）所示的尺寸约为30mm×20mm的印制电路板上。VT用9014或3DG8型硅NPN小功率三极管，要求电流放大系数$\beta>100$。VD5用3V、1W硅稳压二极管，如2CW101、1N4727型等。电容器C用CD11-10V型电解电容器。

电阻器R1～R3一律用RTX-1/8W型碳膜电阻器。焊接好的电路板可直接接入欲控制照明电灯的电源开关两端，要求被控电灯只能是白炽灯泡、且总功率不得超过60W。当然在正式加装前，必须首先断开220V交流电的总电源开关，严禁带电加装！如果所接的开关是壁式开关，可将电路板直接装进壁式开关的接线暗盒内，其a、b引线头不分次序并接在开关的两个接线柱上。

本延时关灯控制器电路简洁、设计合理，只要焊接无误，不需任何调试便能正常工作。延时关灯的时间长短，主要由电容器C和电阻器R1、R2的大小决定。按图2（a）所标参数选择元器件，实测每次延时关灯的时间约为30s。如果嫌延时关灯时间太短，可通过适当增大电容器C的容量加以调节，反之，如果嫌延时关灯时间太长，可通过适当减小C的容量来加以调节。

路灯光控开关

例三

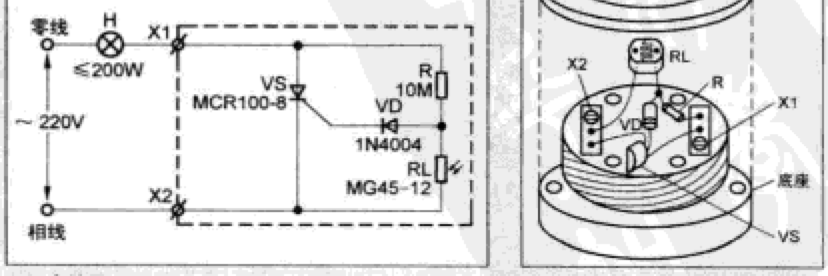
该路灯光控开关能使普通白炽灯的亮灭跟随环境光线变化自动转换，适合于控制路灯、走廊灯等，具有较好的节电效果并能延长灯泡使用寿命。

路灯光控开关的电路如图3（a）虚线框内所示。微控管VS的触发信号由电阻器R和光敏电阻器RL对220V交流电的分压（忽略电灯丝电阻）得到。VD是普通晶体二极管，主要用于防止RL两端反向电压导致VS控制极的损坏。白天，环境自然光线较强，光敏电阻器RL呈低阻值（<2kΩ），RL两端交流电压小于VD和VS控制极的导通电压（约0.65V+0.65V=1.3V），VS处于阻断状态，电灯H不亮。此时，电路自身耗电甚微，实测总电流<22μA。夜晚，环境自然光线变暗，光敏电阻器RL呈高阻值（>1MΩ），微控管VS从RL两端获得足够的触发电压而导通，电灯H通电自动点亮。

由于每次夜幕降临电灯点亮时，灯的亮度是随着外界自然光线的减弱而逐渐由暗变为最亮，故避免了使用普通机械开关时，每次开灯瞬间比正常时大10倍以上的强电流对灯丝的冲击，有效防止了灯丝的过电流速损，另外，电灯H工作时加在它两端的是半波脉冲电压，实测直流平均电压约99V，灯泡实际功率仅为标称功率的30%左右，这不仅节电，而且还能有效防止因夜深电网电压升高而造成的灯丝过电压速损，使得灯泡使用寿命大大延长。笔者单位楼道里的照明电灯，在使用本光控开关之前，每月要更换2～3只白炽灯泡，使用本光控开关后，一年多时间尚未更换过一只灯泡。

制作时，RL用MG45-12型非密封光敏电阻器，其他型号的亮阻≤2kΩ、暗阻≥1MΩ的光敏电阻器也可代用。R采用RTX-1/8W型碳膜电阻器。整个路灯光控开关电路可巧妙地组装在经过改造后的吊式电灯用挂线盒内，如图3（b）所示。焊接时注意，各元件引脚均套上电工用绝缘套管，以免在使用过程中发生短路故障。光敏电阻器RL的引脚不要剪得过短，以装好后正好从原吊线出孔凸出受光面为宜，挂线盒原有的接线桩直接用作X1、X2接线桩即成。

该路灯光控开关适合控制标称功率≤200W的普通照明用白炽灯（也叫钨丝灯泡），它的接线方法与普通机械开关相同，完全符合电工接线规范。实际安装时，只需把光控开关的两个接线端X1、X2，不分顺序串入被控电灯的相线（火线）一侧回路即行。但注意光控开关安装位置要有所讲究，应避开风雨侵蚀和灯光直射，选择在感受自然光良好的地方固定。



(a) 电路图 (b) 装配图

图3 路灯光控开关

照相闪光灯同步开关

例四

该闪光灯同步开关可实现用一只闪光灯遥控其他数只位于不同位置上的闪光灯同时闪光，以增加摄影的艺术效果。

照相闪光灯同步开关的电路如图4（a）所示。图中BP1、BP2为硅光电池，由于光电池在光照下能产生电压并输出电流，所以不必外接电源便可触发微控管VS起开关作用。又由于一只硅光电池的最大输出电压不超过0.6V，而VS的触发电压要在0.7V以上，故须用两只光电池串联，以保证触发VS可靠工作。微调电阻器RP用来调节光控开关的灵敏度，一般在使用环境光照条件下调节RP，使VS处于临界导通状态即可。

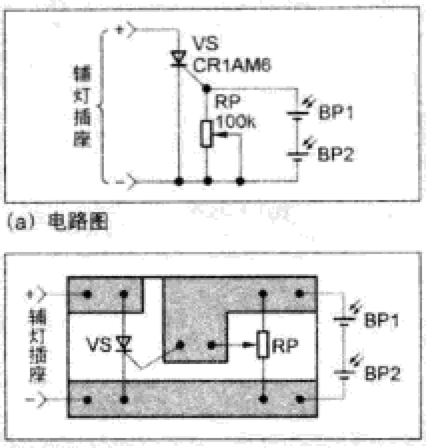


图4 照相闪光灯同步开关

制作时，BP1、BP2选用国产2CR型硅光电池，也可用一块尺寸为35mm×14mm×1mm的SC-1435型成品太阳能电池板来代替。全部元器件按图4(b)所示焊接在尺寸约为35mm×15mm的印制电路板上，并装入体积合适的绝缘小盒内。盒面板为BP1、BP2开出感光窗口，使其能够良好地接收照相机闪光灯发出的闪光。

微型吊扇延时开关

例五

炎热的夏季，许多读者都喜欢在自己的蚊帐里吊起一个市售微型吊扇乘凉。由于这种微型吊扇无定时开关，接通电源后就会彻夜工作，所以往往使人在入睡后着凉生病。如果自己动手给它加装上下面介绍的延时开关，就可实现人睡觉后吊扇的延时自动断电停转。微型吊扇延时开关的电路如图5（a）虚线右边所示，虚线左边是为便于说明原理而绘出的微型吊扇原有电路。在吊扇原有手动开关SA断开的条件下，按一下按键开关SB，220V交流市电便会经吊扇电动机M、桥式整流二极管VD1～VD4、隔离二极管VD5后，对电容器C充电，充电电压实测不超过23V；与此同时，微控管VS经限流电阻器R获得合适触发电流而导通，吊扇因电动机M通电而运转。人手松开按键开关SB后，电容器C通过电阻器R放电，维持微控管VS继续导通。经过一段时间（延时时间），电容器C两端放电电压下降到10V以下，微控管VS因得不到足够的触发电流而在交流电过零时关断，电动机M的电源被切断，吊扇自动停止运转。此时，电路本身不再耗电。

电路中，晶体二极管VD1～VD4组成的桥式整流电路，在微控管VS导通后，能使电动机M两端获得全波交流电压。VD5为隔离二极管，其主要作用是防止电容器C所充电荷在微控管VS导通后逆向泄放掉。吊扇延时停转的时间长短，主要由电容器C和电阻器R的参数大小确定，此外还与微控管VS的最低触发电流大小有关。整个电路按图5（b）所示焊接在尺寸约为40mm×30mm的印制电路板上。印制电路板可用刀刻法制作，并可不必钻孔，而将全部元器件直接焊在铜箔面上。按键开关SB可按照图5（c）所示用磷铜皮弯制，并用废旧发光二极管（φ5mm）做成绝缘按钮。R用RTX-1/8W型碳膜电阻器，C用CD11-25V型电解电容器，适当改变电阻器R或电容器C的数值，即可获得不同的延时时间。按图5（a）选用数值，实测延时时间为45min（分钟）左右。如将电容器C的容量减为2200μF，则延时时间为30min左右，电容器C取4700μF时，延时时间将会超过1h（小时）。

焊接好的电路板装入体积合适的绝缘小盒内，其两根外引线头a、b，不分次序并接在吊扇原有的手控电源开关SA两端即成。注意：加装延时开关之前，必须先断开微型吊扇的220V交流电源插头，谨防触电！本延时开关电路简洁、设计合理，只要焊接无误，一般不需任何调试便能正常工作，而且它的接入并不会影响微型吊扇原有手动开关的正常使用。除用于控制微型吊扇外，此延时开关还可如法控制排气扇、卫生间照明电灯等（需减小电容器C的容量至1000μF以下，以获得只有数分钟的延时时间），有兴趣者不妨动手一试。

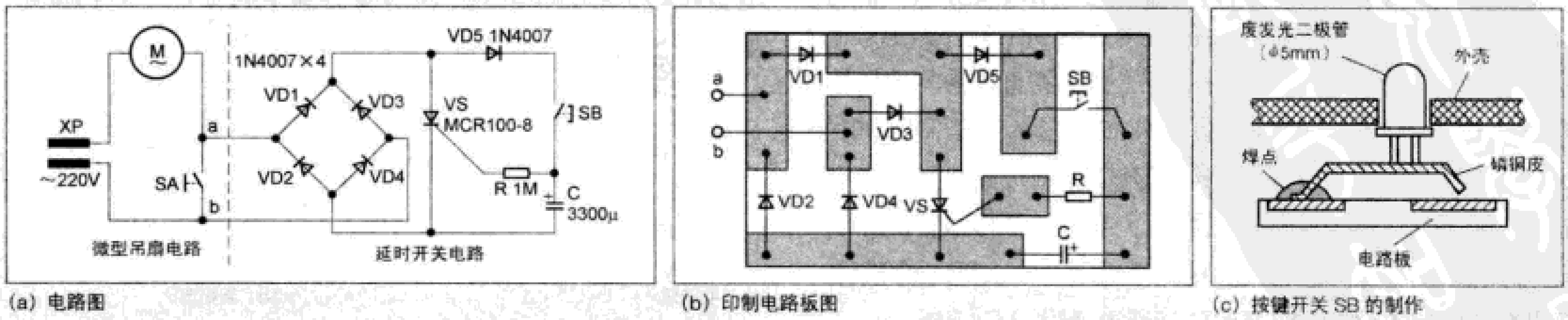
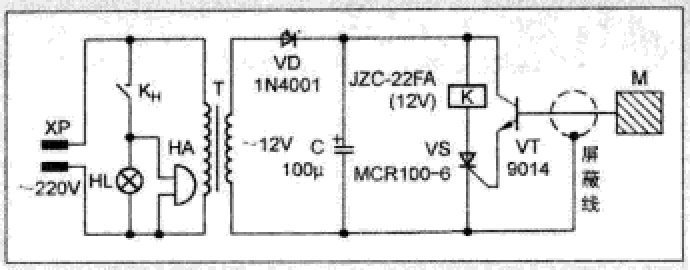


图5 微型吊扇延时开关

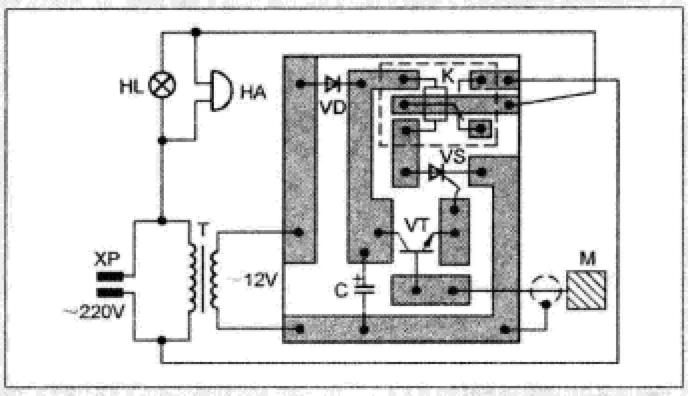
“一触即发”的防盗器

例六

这台防盗报警器线路简单、灵敏度高、性能稳定，可用于机关单位的保险柜以及家庭门窗锁等地方。每当人体碰到所保护的金属物品时，警铃就会长鸣，警灯就会点亮，直到切断电源为止。



(a) 电路图



(b) 印制电路板图

图6 “一触即发”的防盗器

“一触即发”的防盗器电路如图6 (a) 所示。平时继电器K处于释放状态，其常开触点KH切断电铃HA和电灯HL的交流供电回路，使整个装置处于警戒待报警状态。当有不速之客触及到金属体M时，人体感应电流注入晶体三极管VT的基极，使VT由截止转为导通，微控管VS因控制极获得触发信号亦导通，继电器K通电吸合，其触点K_H接通HA和HL电源。于是HL发出亮光，使黑暗中作案的小偷暴露在灯光下；HA发出刺耳的铃声，呼叫人们：快来捉拿窃贼！一旦VS受触发导通，声、光报警信号就不会中止。此时，只有主人断开交流电源，方能解除警报信号。

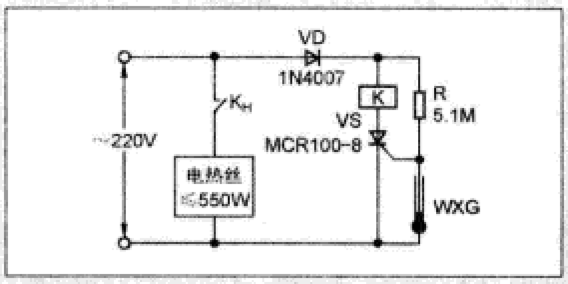
整个电路按照图6 (b) 所示焊接在尺寸约为40mm×35mm的印制电路板上。VT用9014或3DG8型硅NPN小功率三极管，要求电流放大系数β>150。C用CD11-16V型电解电容器。K用JZC-22FA/012-1Z型超小型中功率电磁继电器，其触点负荷220V×3A，外形尺寸22.5mm×16.5mm×16.5mm，可直接焊在印制电路板上。T用220V/12V、1.5W优质成品电源变压器，要求长时间空载运行不会过热。HA采用ϕ75cm、交流220V冲击式电铃，其他220V交流电铃也可直接代用。HL用220V普通白炽灯泡。XP用交流电器常用的二极电源插头。

触摸电极M实则是被保护物上的金属部件（如保险柜手柄、门锁、柜锁等），它必须与大地保持良好的绝缘，并且体积不可太大，以免报警器失灵。连接触摸电极M与报警器之间的金属屏蔽线按实际需要确定长度，其外编套接微控管VS的阴极，以有效防止外界杂波信号通过M引线的感应，对VS控制极造成触发干扰，引起报警器产生误报警。该报警器电路不需调试，一次就能组装成功。它的触发灵敏度相当高，人手戴着纱手套碰到触摸电极M，也能触发电路可靠报警。

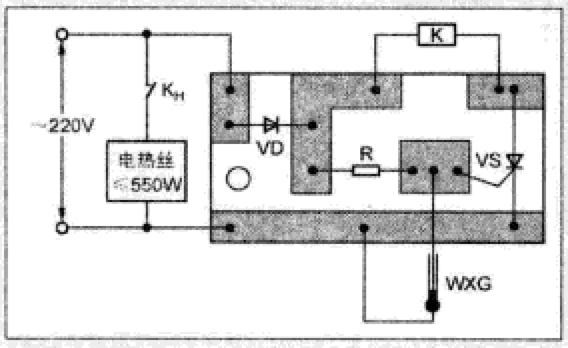
高精度恒温控制开关

例七

这里介绍一种数字式恒温控制开关，它适合于在电孵化、种子发芽和菌类培养等各种恒温箱上使用，控温精度一般可达±0.5℃。



(a) 电路图



(b) 印板图

图7 高精度恒温控制开关

高精度恒温控制开关的电路如图7 (a) 所示。该开关采用高精度内标式电接点水银温度计WXG控制微控管VS的导通与阻断，进而带动继电器K吸合与释放，并让其常开触点K_H控制电热丝电源回路的通断，使得电热丝的工作与否受控于恒温箱内温度的变化，从而使恒温箱的温度始终恒定在WXG设定的控制温度附近。

整个电路以图7 (b) 所示的尺寸约为35mm×15mm的印制电路板为基板进行焊接。WXG选用可调式WXG-11T型电接点玻璃水银温度计。K用JZ-4型交、直流两用继电器，其触点负荷为220V×2.5A，额定电压为直流110V、交流220V。如果所控电热丝（或电炉）的瓦数较大，可通过用K带动交流接触器，然后再去控制大功率电热丝的办法来解决K触点负荷小的问题。焊接好的电路板应安装在恒温箱外通风散热处，并用绝缘盒罩住，以免发生触电事故！WXG的测温头应置于被控恒温箱内，调节其顶端的活动螺帽，可使控制温度指定到欲恒定的温度数值上。

同线电话互锁开关

例八

许多家庭或机关单位为了使用更方便，在同一条电话线上至少并联了一部电话机。由于是简单的直接并联，所以存在着一些不足：当你正在使用其中的一部电话通话时，别的人在另一部电话上也能听到你通话的内容，想阻止却又无能为力；另外，当两部并接的电话同时摘机拨号时，都无法正确打出。如果给并接的电话机加装下面介绍的互锁开关，则无论是打电话还是接电话，只有先摘机者才有权通话，后摘机者什么也听不到，可有效地防止监听、干扰等问题。

同线电话互锁开关的电路如图 8（a）所示。在同一用户线上并接的话机 1 和话机 2，都各自串接了一个虚线框内所示的相同电子互锁开关。平时，两部话机均处于收铃状态，用户线间存在有 48V 的直流电压。当话机 1 被先摘机时，48V 直流电压通过话机 1 和晶体二极管 VD1 ～ VD4 构成的全桥，加在微控管 VS1 两端，稳压二极管 VD5 首先击穿导通，从而触发微控管 VS1 导通，话机 1 进入通话状态。此时，用户线间电压立即下降为 6V ～ 10V，这以后话机 2 再摘机时，由于稳压二极管 VD10 的稳压值大于此时的线间电压，因此微控管 VS2 不能够被触发导通，话机 2 中没有电流通过，所以后摘机的话机 2 什么也听不到。同理，话机 2 先摘机时，话机 1 中什么也听不到。

当有电话打进来时，铃流电压分别通过两部话机以后，再经晶体二极管构成的全桥VD1～VD4及VD6～VD9整流，分别加在微控管VS1和VS2两端，由于铃流电压高达90V～110V，所以稳压二极管VD5和VD10均被击穿导通，从而触发微控管VS1和VS2导通，使话机1和话机2都能够正常响铃。当一方首先摘机时，线间电压立即下降为6V～10V，这个过程非常短暂，是在摘机的瞬间完成的，而两部话机又不可能在完全相同的同一时刻摘机，总有时间上的先后之差，所以只有先摘机者才有权通话。

图8（b）为该同线电话互锁开关的印制电路板接线图，印制电路板实际尺寸约为35mm×25mm。注意：需制作两块相同的这种互锁开关板，以便在并接的两部电话上分别安装。VD1～VD4、VD6～VD9均用1N4004或1N4007型普通硅整流二极管，VD5、VD10均用稳定电压是25V、最大耗散功率是0.25W的普通硅稳压二极管，如1N4117或2CW66型等。R1～R4均用RTX-1/8W型碳膜电阻器。

焊接好的两块电路板，分别安装在两部并接电话的机壳内部空闲位置处。电路板上的两根外引线a、b或c、d，按图8（c）所示不分次序串联在电话进线插座两根引入线的任意一根回路中。如嫌打开电话机外壳加装互锁开关板麻烦，可将互锁开关板单独装入一个体积合适的绝缘密闭小盒内，然后通过两根外引线串接在每部电话机外面的接线盒内任意一根接线的回路中。如果并接电话有3部，可同时制作3块相同的互锁开关板，在每部电话上都如法加装，以便实现3部电话之间的互锁。

使用中，如果接外来电话者不是受话人，可通知另一部电话机旁的受话人接电话，待受话人提起电话手柄后，前者便可放下电话机手柄，从而实现互相转接外来电话。

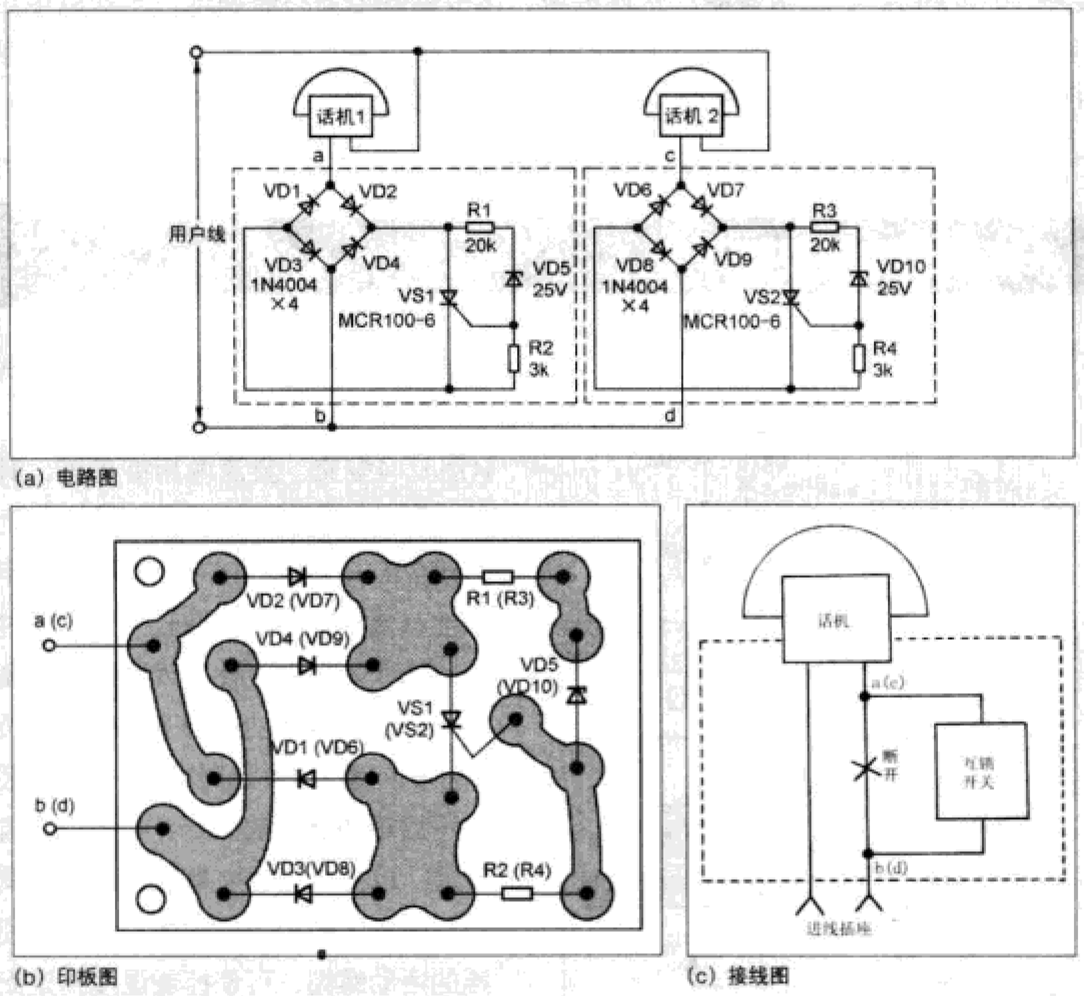
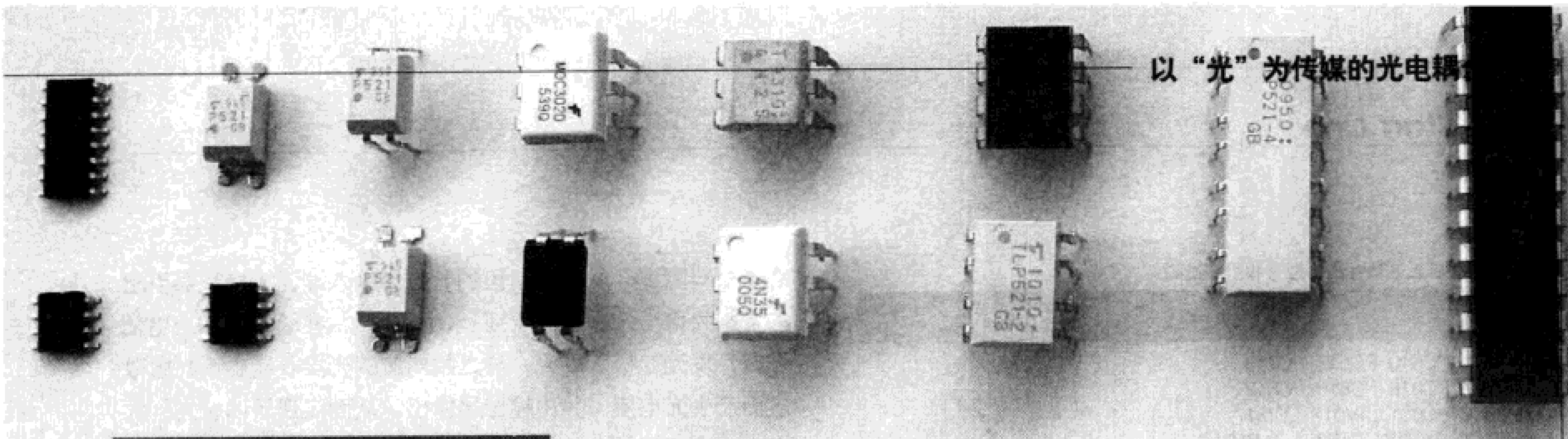


图8 同线电话互锁开关



常用元器件的识别与使用（十五）

◎张晓东

以"光"为传媒的光电耦合器

光电耦合器（简称光耦）是一种以光作为媒介、把输入端的电信号耦合到输出端去的新型半导体"电—光—电"转换器件。换句话讲，它具有把电子信号转换成为相应变化规律的光学信号、然后又重新转换成为变化规律相同的电信号的单向传输功能，并且能够有效地隔离噪声和抑制干扰，实现输入与输出之间的电绝缘。这种信号传递方式是所有采用变压器和电磁继电器作隔离来进行信号传递的一般解决方案所不能相比的。

光电耦合器的优点是单向传输信号、输入端与输出端在电气上完全隔离、输出信号对输入端无影响、抗干扰能力强、工作稳定、无触点、体积小、使用寿命长、传输效率高等，因而在隔离电路、开关电路、数模转换、逻辑电路、过流保护、长线传输、高压控制及电平匹配等电路中得到了越来越广泛的应用。目前，光电耦合器已发展成为种类最多、用途最广的光电器件之一。

结构及特点

光电耦合器由组装在同一密闭壳体内的半导体发光源和光接收器两部分组成，其结构如图1（a）所示。发光源多为发光二极管，光接收器可以是光敏晶体管，也可以是光敏场效应管、光敏晶闸管和光敏集成电路等。发光源和光接收器彼此相对并用透明

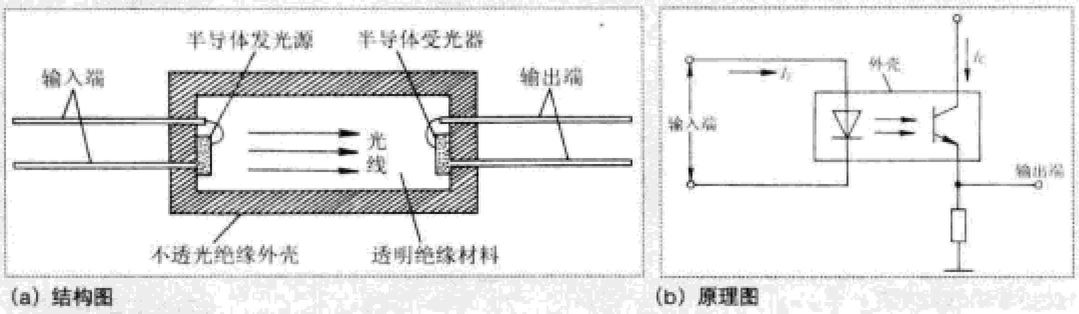
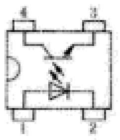
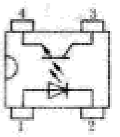
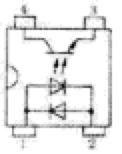
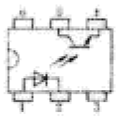
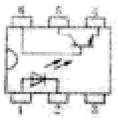
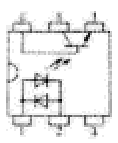
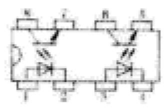
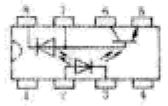
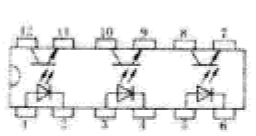
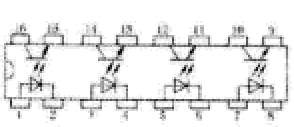


图1 光电耦合器构成图

表1 常用光电耦合器的型号和主要参数

型号	结构	输入端正向压降 U_F(V)	输出端反向击穿电压 U_{BR}(V)	输出端饱和压降 U_{CE}(V)	电流传输比CTR(%)	上升、下降时间 t_r、t_f(μs)	输入、输出间绝缘电压 U_{ISO}(V)	外形
TIL112	光敏三极管输出（有基极引脚）	1.5	20	0.5	2.0	2.0	1500	6脚DIP封装
TIL114		1.4	30	0.4	8.0	5.0	2500	
TIL124		1.4	30	0.4	10	2.0	5000	
TIL116		1.5	30	0.4	20	5.0	2500	
TIL117		1.4	30	0.4	50	5.0	2500	
4N27		1.5	30	0.5	10	2.0	1500	
4N26		1.5	30	0.5	20	0.8	1500	
4N35		1.5	30	0.3	100	4.0	3500	
TIL118	光敏三极管输出（无基极引脚）	1.5	20	0.5	10	2.0	1500	
TIL113	达林顿管输出（有基极引脚）	1.5	30	1.0	300	300	1500	
TIL127		1.5	30	1.0	300	300	5000	
TIL156		1.5	30	1.0	300	300	3535	
4N31		1.5	30	1.0	50	2.0	1500	
4N30		1.5	30	1.0	100	2.0	1500	
4N33		1.5	30	1.0	500	2.0	1500	
TIL119	达林顿管输出（无基极引脚）	1.5	30	1.0	300	300	1500	
TIL128		1.5	30	1.0	300	300	5000	
TIL157		1.5	30	1.0	300	300	3535	
H11AA1	交流输入、光敏三极管输出	1.5	30	0.4	20		2500	
H11AA2		1.5	30	0.4	10		2500	
MOC633A	双向晶闸管输出	1.2	400				7500	
MOC634A		1.2	400				7500	

表2 常用光电耦合器的型号和引脚排列

型号	引脚排列（顶视）
PC111 PC510 PC617 PC713 PC817 PC818 PC810 PC812 PC502 PC601 LTV017 LTV817 TLP121 TLP124 TLP321 TLP521-1 TLP621-1 TLP624 ON3111 ON3131 OC617 PS2401-1 GIC5102	
PC120 TLP500 LE523	
TLP120 TLP126 TLP620 TLP626	
TLP332 TLP509 TLP519 TLP532 TLP632 TLP632 TLP634 TLP723 TLP732 PC017 PC504 PC614 PC714 PS208B PS2009B PS2018 PS2019 CNV17F CNX82A FX0012CE	
TLP503 TLP508 TLP531 PC112 PC613 4N25 4N26 4N27 4N28 4N35 4N36 4N37 TIL111 TIL112 TIL114 TIL115 TIL116 TIL117 TLP631 TLP535	
TLP120 TLP126 TLP620 TLP626	
TLP321-2 TLP521-2 TLP621-2 TLP624-2	
TLP551 TLP651 TLP751 PC618 PS2006B 6N135 6N136	
TLP321-3 TLP521-3 TLP621-3 TLP624-3	
TLP321-4 TLP521-4 TLP621-4 TLP624-4	

绝缘材料隔离，发光源引出的管脚为输入端，光接收器引出的管脚为输出端。当按照图1（b）所示，在输入端加上电信号时，发光二极管发光，与之相对应的光接收器由于光敏效应而产生光电流，并由输出端输出，从而实现了以“光”为媒介的电信号单向传输，而器件的输入和输出两端在电气上是完全保持绝缘的。

光电耦合器的主要特点是：输入和输出端之间绝缘，其绝缘电阻一般都大于$10^{10}\Omega$，耐压一般可超过1.5kV，有的甚至可以达到10kV以上，由于“光”传输的单向性，所以信号从光源传输到光接收器时不会出现反馈现象，其输出信号也不会影响输入端。此外，光电耦合器能够很好地抑制干扰并消除噪声，其响应速度快（时间常数通常在微秒甚至毫微秒级）、无触点、寿命长、体积小、耐冲击、容易和逻辑电路配合，这使得它的应用很广泛。例如，在计算机数位通信及即时控制中作为信号隔离的接口器件，可以大大增加其工作之可靠性；在单片开关电源中，利用线性光电耦合器可构成光耦回馈电路，通过调节控制端电流来改变占空比，达到精密稳压的目的。

外形和种类

光电耦合器的封装形式可分为同轴型、双列直插型、TO封装型、扁平封装型、贴片封装型、光纤传输型等。但电子爱好者在制作或维修时经常用到的封装形式几乎全部都是塑料双列直插型、扁平封装型和贴片封装型3大类，引脚有4、6、8、12、16、24脚等多种，图2所示是它们的实物外形图。

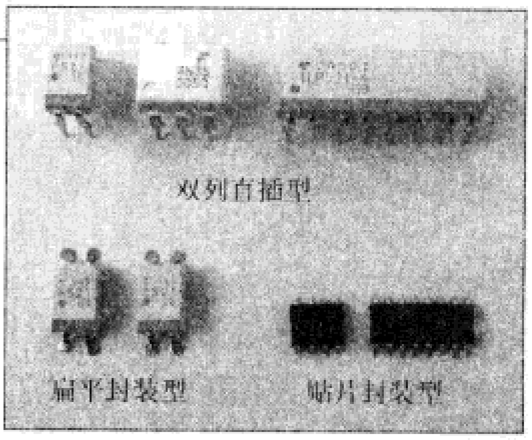


图2 光电耦合器实物外形图

光电耦合器的种类较多，如果按照输出形式不同来划分，主要有光敏二极管型、通用型（即光敏三极管型，又分无基极引线和有基极引线两种）、达林顿（复合三极管）型、双向对称型、高速型、光敏电阻型、光电池型、光敏场效应管型、光敏晶闸管型（又分单向晶闸管和双向晶闸管两种）、光集成电路型等。

光电耦合器按传输信号不同，可分为非线性（数字型）光电耦合器和线性（模拟型）光电耦合器两大类。按传输信号的速度不同，可分为低速光电耦合器（光敏三极管、光电池等输出型）和高速光电耦合器（光敏二极管带信号处理电路或者光敏集成电路输出型）。按隔离特性不同，可分为

光电耦合器使用常识

◎张晓东

简易测试方法

由于光电耦合器的组成方式不尽相同，所以在检测时应针对不同的结构特点，采取不同的检测方法。例如，在检测普通光电耦合器的输入端时，一般均参照红外发光二极管的检测方法进行。对于光敏三极管输出型的光电耦合器，检测输出端时应参照光敏三极管的检测方法进行。

1．万用表检测法。这里以MF50型指针式万用表和4脚PC817型光电耦合器为例，说明具体检测方法：首先，按照图1（a）所示，将指针式万用表置于“R×100”（或“R×1k”）电阻挡，红、黑表笔分别接光电耦合器输入端发光二极管的两个引脚。如果有一次表针指数为无穷大，但红、黑表笔互换后有几千至十几千欧姆的电阻值，则此时黑表笔所接的引脚即为发光二极管的正极，红表笔所接的引脚为发光二极管的负极。

然后，按照图1（b）所示，在光电耦合器输入端接入正向电压，将指针式万用表仍然置于“R×100”电阻挡，红、黑表笔分别接光电耦合器输出端的两个引脚。如果有一次表针指数为无穷大（或电阻值较大），但红、黑表笔互换后却有很小的电阻值（<100Ω），则此时黑表笔所接的引脚即为内部NPN型光敏三极管的集电极c、红表笔所接的引脚为发射极e。当切断输入端正向电压时，光敏三极管应截止，万用表指数应为无穷大。这样，不仅确定了4脚光电耦合器PC817的引脚排列，而且还检测出它的光传输特性正常。如果检测时万用表指针始终不摆动，则说明光电耦合器已损坏。

需要说明的是：光电耦合器中常用红外发光二极管的正向导通电压较普通发光二极管要低，一般在1.3V以下，所以可以用指针式万用表的“R×100”电阻挡直接测量，并且图1（b）中的电池G电压取1.5V（用1节5号电池）即可。还可用图1（a）所示的万用表接线直接取代图1（b）所示的输入端所接正向电压（即电阻器R和电池G），使测量更方便，只不过需要增加一块万用表。

至于多通道光电耦合器的检测，应首先将所有发光二极

普通隔离光电耦合器（一般光学绝缘胶灌封低于5kV、空气封低于2kV）和高压隔离光电耦合器（可分为10kV、20kV、30kV等）。按传输信号通道数不同，可分为单通道、双通道和多通道光电耦合器。

主要参数

光电耦合器的输入特性就是内部发光器（多为发光二极管）的特性，输出特性取决于内部光接收器。除此之外，还有表征整体性能的电流传输比*CTR*、输入与输出之间的绝缘电阻R_{so}等参数。在传输数字信号时，还有脉冲上升时间、下降时间、延迟时间等参数；在传输交流信号时，还必须考虑频率特性等参数。

型号与引脚的识别

电子爱好者经常碰到的光电耦合器尽管外形基本上都是双列4脚、6脚、8脚……塑料封装，但由于型号的命名各厂家不统一，可谓五花八门，无规律可循，而且从型号上面一般是看不出有关内部结构和具体参数等信息的。要想知道某一型号产品的结构特点和有关参数等，就只能查看厂家说明

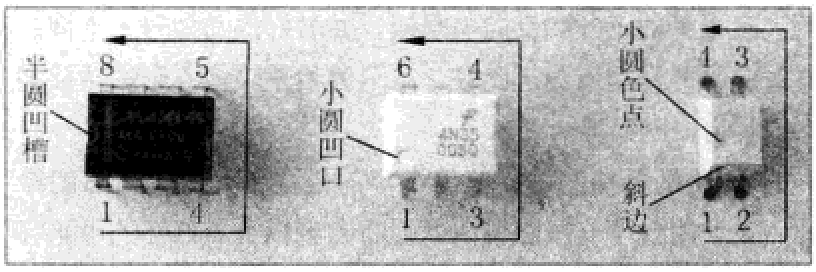
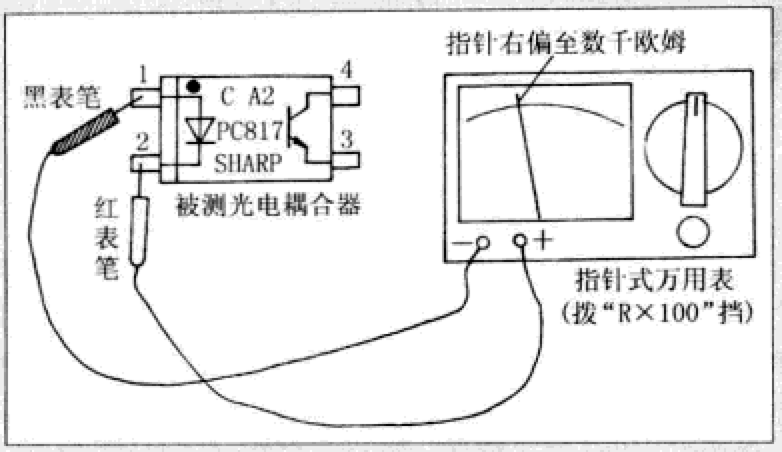


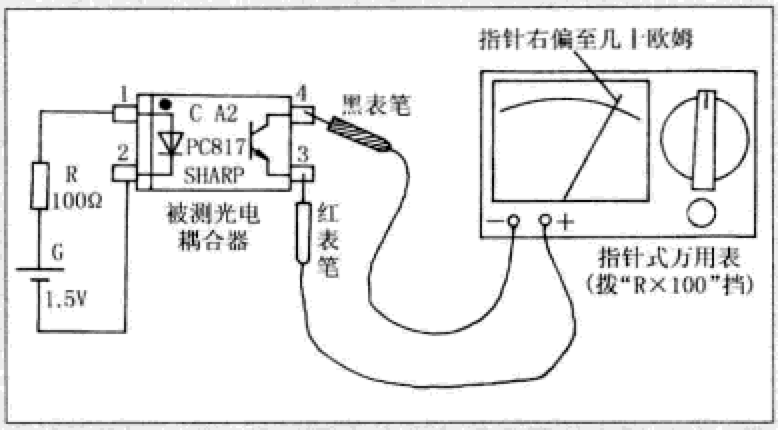
图3 光电耦合器引脚排序规则

书或相关的参数手册。表1列出了部分常用6引脚塑料双列直插型光电耦合器的型号和主要参数，供参考。

常用光电耦合器的引脚排序规则如图3所示。这跟普通集成电路完全相同，即：将产品的引脚面朝向杂志，从顶面（有字面）的半圆凹槽、小圆凹口（色点）或斜边标记处的引脚开始，按逆时针（即图中箭头）方向计数，依次为1、2、3、4脚……如果翻转过来从背面看（比如在印制电路板的焊接面上看），即引脚面正对着自己、有字面朝向杂志，则应按顺时针方向计数。表2给出了笔者归纳整理出的不同型号光电耦合器的引脚排列图，希望能够给读者的应用提供简便快捷的帮助。



(a) 测输入端



(b) 测输出端

图1 光电耦合器的检测

管的管脚判别出来，然后再确定对应的光敏三极管的管脚。对于在线路的光电耦合器，最好的检测方法是"比较法"，即拆下怀疑有问题的光电耦合器，用万用表测量其内部二极管、三极管的正向和反向电阻值，并与好的同型号光电耦合器对应脚的测量值进行比较，若阻值相差较大，则说明被测光电耦合器已损坏。

2. 鉴别器检测法。笔者多年前曾根据光电耦合器的原理，设计制作了一个能够快速判断光电耦合器好坏的小巧鉴别器，其电路如图 2 所示。当将光电耦合器的输入、输出引脚分清极性后正确插入鉴别器的 4 个相应插孔内时，如果发光二极管 VD1、VD2 同步闪烁发光，则证明光电耦合器完好。如果 VD1 不闪烁发光，则说明光电耦合器内部发光管已开路，如果 VD1 闪烁发光，但 VD2 不亮或恒定发光，说明光电耦合器内部不是发光管失效就是光敏晶体管已开路或击穿损坏。

制作时，VD1 用红色闪烁发光二极管，VD2 用绿色普通发光二极管。R 用 RTX-1/8W 型碳膜电阻器。4 个管脚插孔可用ϕ0.4mm ~ϕ0.6mm 的裸铜丝，在一枚 2 号大头针上密绕十几圈，并在尾端留出长度大于 3cm 的焊接引线（应套上绝缘管），然后脱胎而成。G 用 4 节 5 号干电池串联（6V）而成，如用 4F20-6V 型叠层干电池会更方便。整个电路可焊装在一个体积合适的塑料小盒内，面板开孔伸出两个发光二极管的管帽和 4 个插孔。注意：输入和输出插孔的间距不要超过 1cm，各插孔伸出的引线长度不要小于 2cm，便于灵活互换位置，以适应不同型号和引脚排列的光电耦合器检测。本装置不设电源开关，用毕拔掉光电耦合器，电源即被自动切断。

使用常识

1. 光电耦合器的品种和类型繁多，在实际应用时要根据不同的电路选择不同类型的光电耦合器。例如，输入部分有两个"背对背"发光二极管的光电耦合器，适合应用于交流输入的场合，采用达林顿输出结构的光电耦合器，适合应用于输出较大电流的场合，输出由光触发双向晶闸管组成的光电耦合器，适合用来驱动交流负载。

2. 光电耦合器的封装形式与内部结构、电路功能完全是两回事。外形相同的光电耦合器，功能可能完全不同，功能相同的电路也可以用不同的封装。所以选用或代换光电耦合器时，只能以它的型号为根据。另外，光电耦合器直接用于隔离传输模拟量时，必须要考虑它的输出端非线性问题。用于隔离传输数字量时，要考虑它的响应速度问题。如果对输出有功率要求，还得考虑功率接口设计问题。

3. 光电耦合器就输出特性而言，有非线性（数字型）光电耦合器和线性（模拟型）光电耦合器两种。非线性光电耦合器的电流传输特性曲线是非线性的，这类产品适合于开关信号的传输，不适合于传输模拟量。线性光电耦合器的电流传输特性曲线接近直线，并且小信号时性能较好，能以线性特性进行隔离控制。彩电、显示器等的开关电源中常用的光电耦合器为线性产品，如果换成非线性产品，就有可能使振荡波形变坏，严重时出现寄生振荡，对图像画面等产生干扰，同时使电源带负载能力下降。因此，在维修家电产品的开关电源时，如果发现光电耦合器损坏，一定记着要用线性光电耦合器去代换。常用的4脚线性光电耦合器有PC817A~C、PC111、TLP521等，6脚线性光电耦合器有LP632、TLP532、PC614、PC714、PS2031等。电子爱好者非常熟悉的4N××系列（如4N25、4N26、4N35、4N36等）光电耦合器，主要用于传输数字信号(高、低电平)，属于非线性光电耦合器，其线性度差，是不适合用于开关电源中的。

4. 光电耦合器"隔离"作用的建立需要满足一定的外部条件：首先，在光电耦合器的输入部分和输出部分必须分别采用独立的电源，若两端共用一个电源，则光电耦合器的隔离作用将失去意义，其次，当用光电耦合器来隔离输入、输出通道时，必须对所有的信号（包括数位量信号、控制量信号、状态信号）全部隔离，使得被隔离的两边没有任何电气上的联系，否则这种隔离也是没有意义的。

5. 光电耦合器的输入端引脚都是设计在封装的某一边上的，而输出端引脚则是封装在相对的另外一边上的。这种

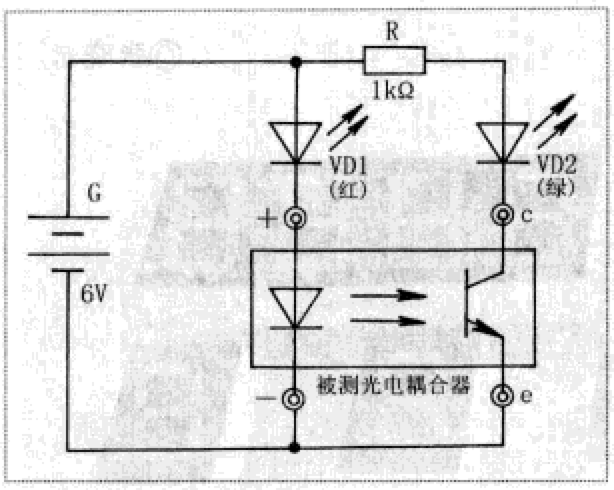


图2 光电耦合器鉴别器电路图

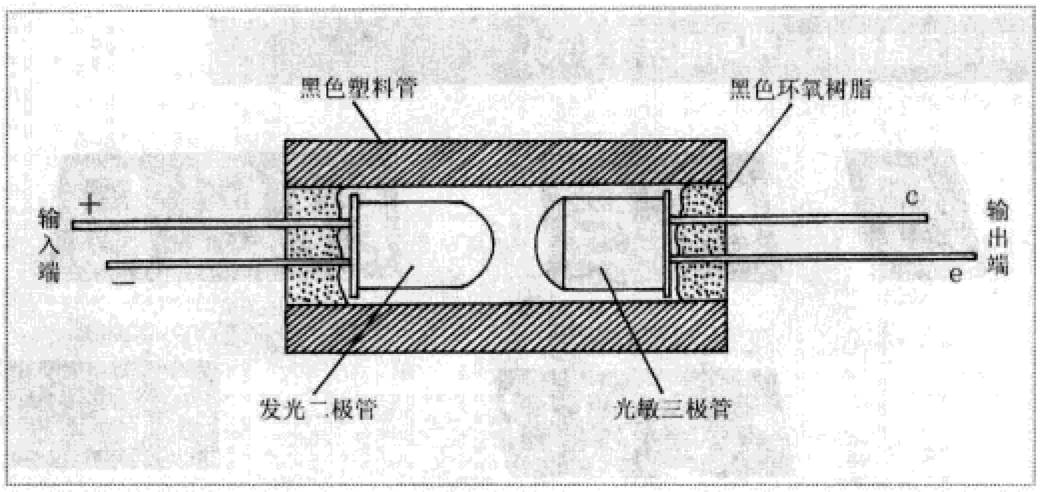


图3 自制光电耦合器

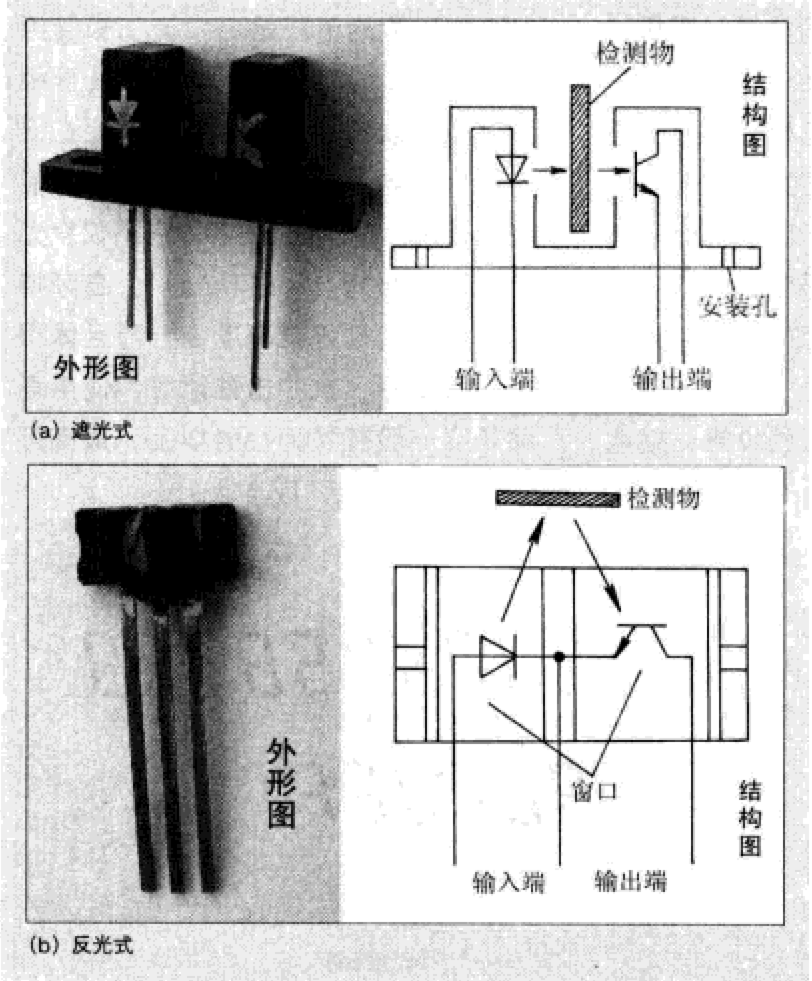
结构可保证前后级间绝缘电阻高达10^{9}～10^{13}欧姆，并有利于增加隔离电压的最大可能值，方便电路的安装。但在多通道光电耦合器中，尽管各输入端与输出端之间的隔离电压值较高（一般≥1.5kV），但是在相邻通道之间所出现的电位差却绝对不允许超过500V。另外，光电耦合器的输入端发光源多为红外发光二极管，它的反向击穿电压一般都很低，有的仅3V，在使用时必须注意输入端不能接反。为了防止红外发光二极管因反压过高而击穿，可在其输入端反向并联上一个保护二极管。

6. 通常单通道光敏三极管型光电耦合器多是密封在一个6引脚的封装之内，光敏三极管的基极被引到封装的外面以备使用。在平常使用中，基极是开路不用的。若将基极引脚与发射极引脚短接，便可将光敏三极管转换成为光敏二极管，在这种情况下，虽然使光电耦合器的电流传输比下降，但却能够使响应时间加快。

7. 在业余电子制作或家电维修时，如果手头一时找不到合适的光电耦合器，可参照图3所示，取一只ϕ 3mm高亮度发光二极管和一只ϕ2mm的3DU型硅光敏三极管，用电工绝缘黑胶布将它们的发光面和受光面正对着卷起来，然后装入一段约ϕ 6mm×20mm的黑色硬塑管内，两端用黑色环氧树脂封固即成。需要指出的是：在选用发光二极管和光敏三极管时，必须使两者的光谱特性（尤其是峰值波长）尽量保持一致，否则会影响光电耦合器的效果。光敏三极管根据需要也可以选用光敏二极管或光敏电阻器等光敏器件。这种自制光电耦合器成本不足2元，其主要特性参数可参考所选用的两只管子的特性。

8. 常见的光电耦合器是把发光器件和光敏器件对置封装在一起，属于内光路光电耦合器，用它可完成电信号的耦合和传递。前面所介绍的光电耦合器均属于内光路光电耦合器。除此以外，还有一类专门用于测量物体的有无、个数和移动距离等的光传感器（也称光电开关或光电断续检测器），它分为遮光式（对射型）和反光式（反射型）两种，其实物外形和结构如图4所示。由于这类光传感器也具有光耦合特点，并且它的光路在器件外面，所以将这类器件统称为外光路光电耦合器。外光路光电耦合器的输入端与输出端多数也采用相互隔离的结构，即发光器件和光敏器件相互独立，保持电气绝缘。但也有一些产品像图4（b）那样采用非隔离式，即发光器件和光敏器件为共地。外光路光电耦合器的缺点是容易受到外界光线的干扰，尤其是在较强的环境光线下使用，其检测功能可能丧失。

9. 焊接普通光电耦合器一般用20W左右的小功率电烙铁，烙铁头最好锉成窄小斜面，以求焊点位置准确。焊接时间不宜过长，防止烫坏器件本身或线路板。



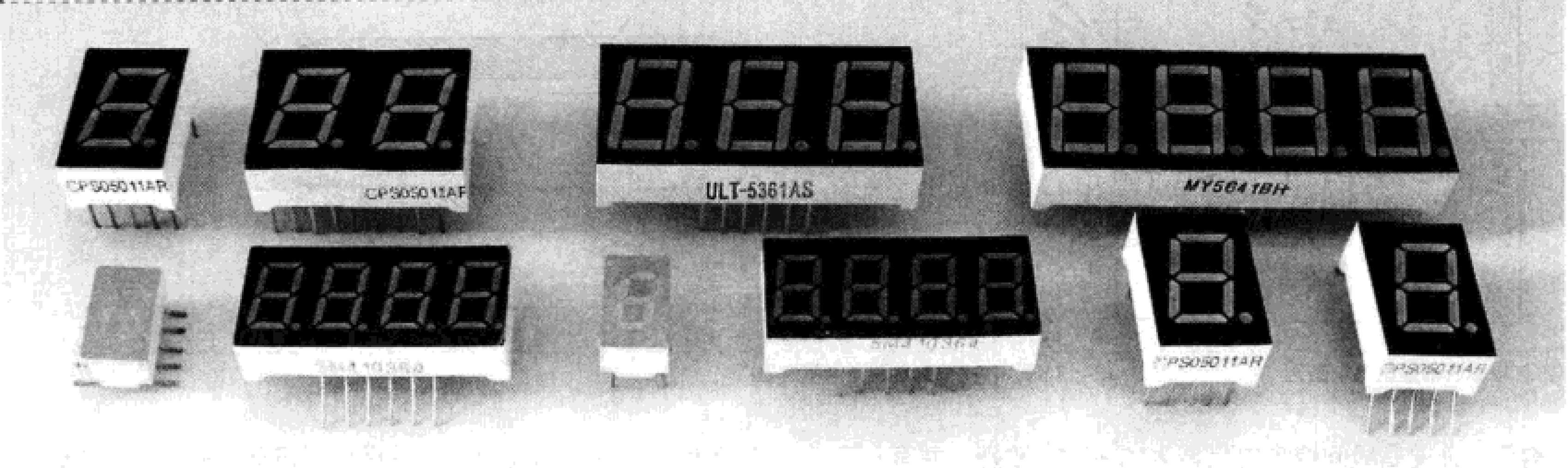
(a) 遮光式

(b) 反光式

图4 外光路光电耦合器

常用元器件的识别与使用（十六）

◎张晓东



能显示字符的LED数码管

LED数码管也称半导体数码管，它是将若干发光二极管按一定图形排列并封装在一起的最常用的数码显示器件之一。LED数码管具有发光显示清晰、响应速度快、耗电省、体积小、寿命长、耐冲击、易与各种驱动电路连接等优点，在各种数显仪器仪表、数字控制设备中得到广泛应用。

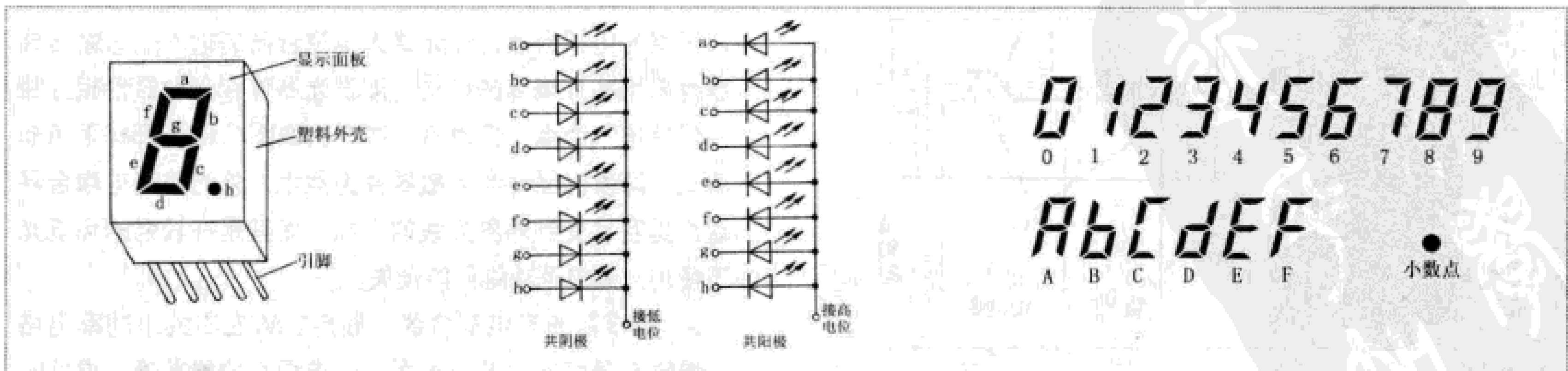
LED数码管种类很多，品种五花八门，这里仅向初学者介绍最常用的小型“8”字形LED数码管的识别与使用方法。

如何识别LED数码管

1. 结构及特点

目前，常用的小型LED数码管多为“8”字形数码管，它内部由8个发光二极管组成，其中7个发光二极管（a~g）作为7段笔画组成“8”字结构（故也称7段LED数码管），剩下的1个发光二极管（h或dp）组成小数点，如图1（a）所示。各发光二极管按照共阴极或共阳极的方法连接，即把所有发光二极管的负极（阴极）或正极（阳极）连接在一起，作为公共引脚，而每个发光二极管对应的正极或者负极分别作为独立引脚（称“笔段电极”），其引脚名称分别与图1（a）中的发光二极管相对应，即a、b、c、d、e、f、g脚及h脚（小数点），如图1（b）所示。若按规定使某些笔段上的发光二极管发光，就能够显示出图1（c）所示的“0~9”10个数字和“A~F”6个字母，还能够显示小数点，可用于2进制、10进制以及16进制数字的显示，使用非常广泛。

常用小型LED数码管是以印制电路板为基板焊固发光二极管，并装入带有显示窗口的塑料外壳，最后在底部引脚面用环氧树脂封装而成。由于LED数码管的笔段是由发光二极管组成的，所以其特性与发光二极管相同。LED数码管的主要特点：能在低电压、小电流条件下驱动发光，并能与CMOS、TTL电路兼容，它不仅发光响应时间极短（<0.1μs）、高频特性好、单色性好、亮度高，而且体积小、重量轻、抗冲击性能好、使用寿命长（一般在10万小时以上，最高可达100万小时）、成本低。



（a）结构图 （b）电路图 （c）显示符

图1 LED数码管构成图

PDG

2. 外形和种类

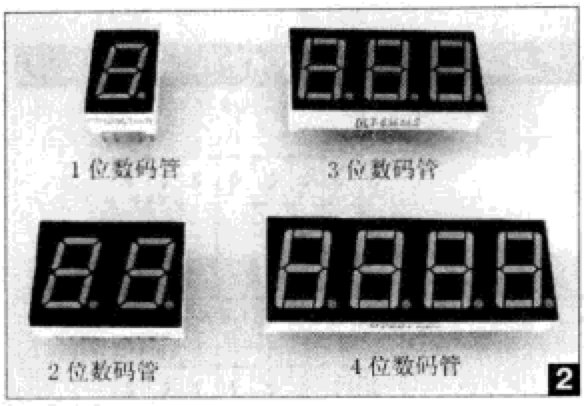
常用小型LED数码管的封装形式几乎全部采用了双列直插结构，并按照需要将1至多个“8”字形字符封装在一起，以组成显示位数不同的数码管。如果按照显示位数（即全部数字字符个数）划分，有1位、2位、3位、4位、5位、6位……数码管，如图2所示。如果按照内部发光二极管连接方式不同划分，有共阴极数码管和共阳极数码管两种，按字符颜色不同划分，有红色、绿色、黄色、橙色、蓝色、白色等数码管；按显示亮度不同划分，有普通亮度数码管和高亮度数码管，按显示字形不同，可分为数字管和符号管。

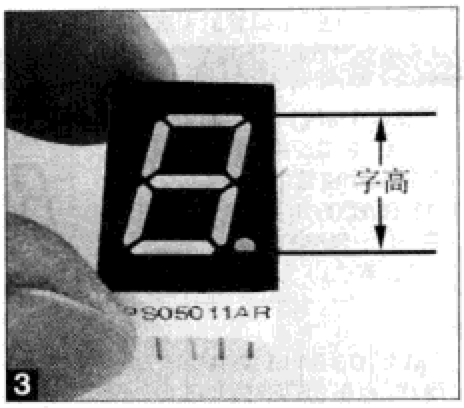
3. 主要参数

表征LED数码管各项性能指标的参数主要有光学参数和电参数两大类，它们均取决于内部发光二极管。除此之外，还有“字高”这一衡量LED数码管显示字符大小的重要参数。“字高”具体所指为显示字符的高度，如图3所示。国外型号的LED数码管常用英寸作为“字高”的单位，国产管则用毫米作单位。常见小型LED数码管的字高有0.32英寸（8.12mm）、0.36英寸（9.14mm）、0.39英寸（9.90mm）、0.4英寸（10.16mm）、0.5英寸（12.70mm）、0.56英寸（14.20mm）、0.8英寸（20.32mm）、1英寸（25.40mm）等。

4. 型号与引脚的识别

由于LED数码管的型号命名各厂家不统一，可谓各行其事，无规律可循。要想知道某一型号产品的结构特点和有关参数等，一般只能查看厂家说明书或相关的参数手册。对于型号不清楚的LED数码管，就只能通过万用表等的测量，弄清内部电路结构和相关参数。表1列出了部分国产BS×××系列LED数码管的主要参数，供参考。





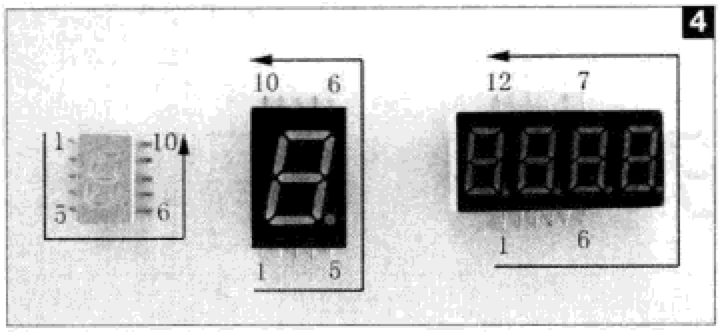


图2 LED数码管实物外形图
图3 LED数码管的尺寸衡量
图4 LED数码管引脚排序规则

表1 部分国产BS×××系列LED数码管的主要参数

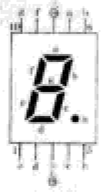
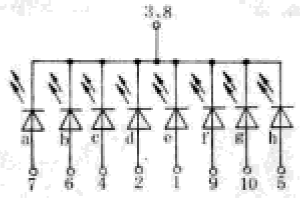
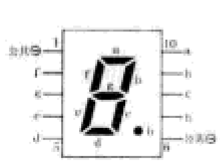
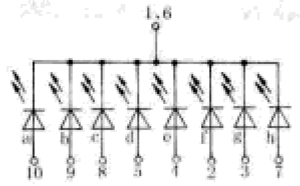
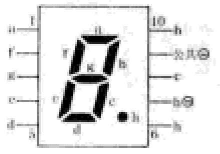
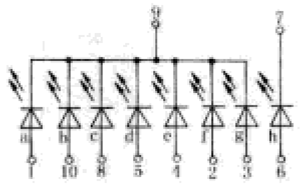
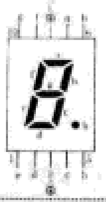
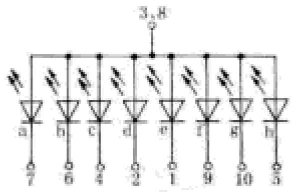
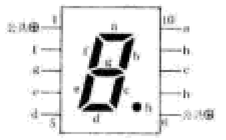
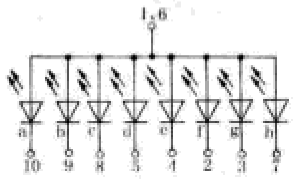
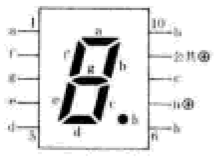
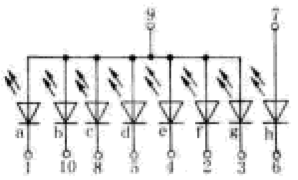
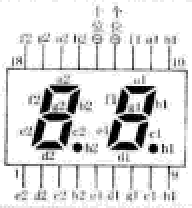
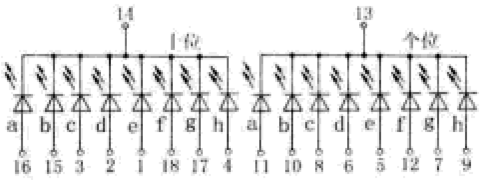
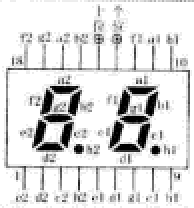
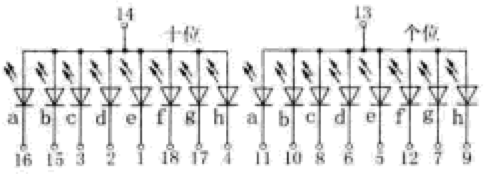
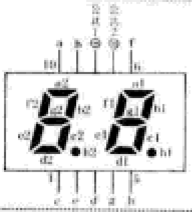
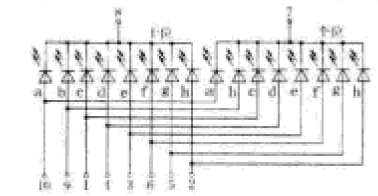
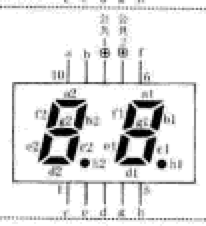
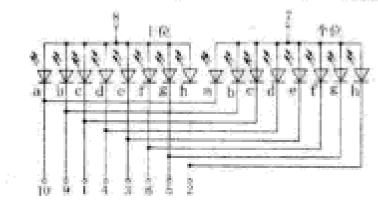
型号	结构	正向压降 UF(V)	最大工作电流(全亮)$I_{FM(mA)}$	最大功耗(全亮) $P_{M(mW)}$	反向击穿电压(每段)$U_{BR(V)}$	发光强度(每段)$I_{V(mcd)}$	字高(mm)
BS201	共阴	≤1.8	40	150	≥5	0.15	8
BS202			200	300			
BS204	共阳	≤1.8	200	300			7.6
BS205	共阴						
BS206	共阳	≤3.6	200	600			12.6
BS207	共阴		400				
BS209	共阳	≤1.8	150	400			7.5
BS210	共阴						

备注：型号后缀字母含义，R—红光、G—绿光、OR—橙光。

小型LED数码管的引脚排序规则如图4所示。即：正对着产品的显示面，将引脚面朝向杂志，从左上角（左、右双排列引脚）或左下角（上、下双排列引脚）开始，按逆时针（即图中箭头）方向计数，依次为1、2、3、4脚……如果翻转过来从背面看（比如在印制电路板的焊接面上看），即引脚面正对着自己、显示面朝向杂志，则应按顺时针方向计数。可见，这跟普通集成电路是一致的。

常用LED数码管的引脚排列均为双列10脚、12脚、14脚、16脚、18脚等，表2给出了笔者整理出的常用LED数码管的引脚排列图和内部电路图，希望能够给读者的应用提供简便快捷的帮助。识别引脚排列时大致上有这样的规律：对于单个数码管来说，最常见的引脚为上、下双排列，通常它的第3脚和第8脚是连通的，为公共脚，如果引脚为左、右双排列，则它的第1脚和第6脚是连通的，为公共脚。但也有例外，必须具体型号具体对待。另外，多数LED数码管的“小数点”在内部是与公共脚接通的，但有些产品的“小数点”引脚却是独立引出来的。对于2位及以上的数码管，一般多是将内部各“8”字形字符的a~h这8根数据线对应连接在一起，而各字

表2 常用LED数码管的引脚排列图和内部电路图

型号	引脚排列（顶视）	内部电路
CPS05011AR(1位共阴/红色0.5英寸)、SM420501K(红色0.5英寸)、SM620501(蓝色0.5英寸)、SM820501(绿色0.5英寸)		
SM420361(1位共阴/红色0.36英寸)、SM440391(红色0.39英寸)		
SM420322(1位共阴/红色0.32英寸)、SM220322(绿色0.32英寸)		
SM410561K(1位共阳/红色0.56英寸)、SM610501(蓝色0.5英寸)、SM810501(绿色0.5英寸)		
SM410361(1位共阳/红色0.36英寸)、HDSR-7801(红色0.3英寸)、HDSP-7301(红色0.3英寸)		
SM410322(1位共阳/红色0.32英寸)、SM210322(绿色0.32英寸)		
SN420502(2位共阴/红色静态 0.5英寸)、SN220801(绿色0.8英寸)、KW2-561CGA（绿色 0.56英寸）		
SN410502(2位共阳/红色静态 0.5英寸)、SN210801(绿色0.8英寸)		
SN460561(2位共阴/红色动态 0.56英寸)、SN260561(绿色0.56英寸)		
SN450561(2位共阳/红色动态0.56英寸)、SN250561(绿色0.56英寸)		

符的公共脚单独引出（称“动态数码管”），既减少了引脚数量，又为使用提供了方便。例如，4位动态数码管有4个公共端，加上a~h引脚，一共才只有12个引脚。如果制成各“8”字形字符独立的“静态数码管”，则引脚可达到40脚。

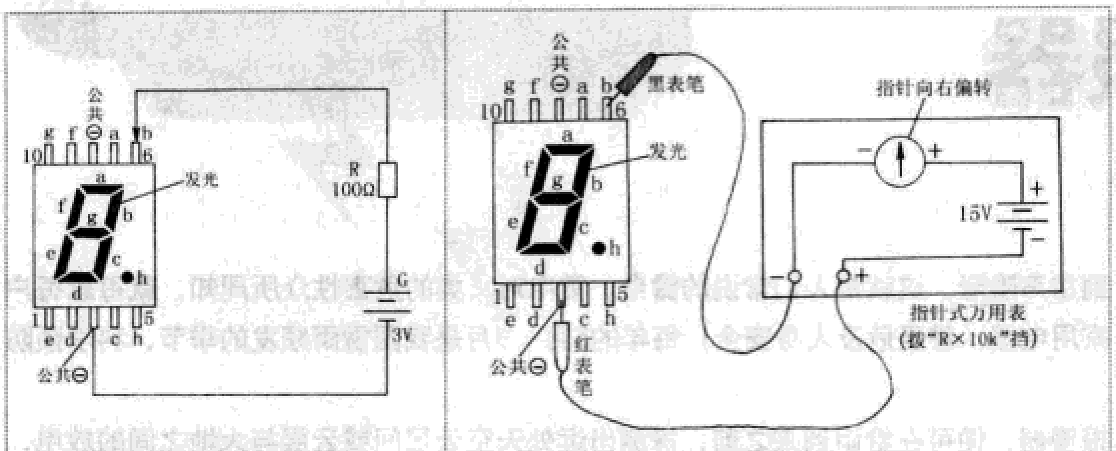
LED数码管简易测试方法

一个质量保证的LED数码管，其外观应该是做工精细、发光颜色均匀、无局部变色及无漏光等。对于不清楚性能好坏、产品型号及管脚排列的数码管，可采用下面介绍的简便方法进行检测。

1. 干电池检测法。如图5（a）所示，取两节普通1.5V干电池串联（3V）起来，并串联一个100Ω、1/8W的限流电阻器，以防止过电流烧坏被测LED数码管。将3V干电池的负极引线（两根引线均可接上小号鳄鱼夹）接在被测数码管的公共阴极上，正极引线依次移动接触各笔段电极（a~h脚）。当正极引线接触到某一笔段电极时，对应笔段就发光显示。用这种方法可以快速测出数码管是否有断笔（某一笔段不能显示）或连笔（某些笔段连在一起），并且可相对比较出不同的笔段发光强弱是否一致。若检测共阳极数码管，只需将电池的正、负极引线对调一下，方法同上。

如果将图5（a）中被测数码管的各笔段电极（a~h脚）全部短接起来，再接通测试用干电池，则可使被测数码管实现全笔段发光。对于质量保证的数码管，其发光颜色应该均匀，并且无笔段残缺及局部变色等。

如果不清楚被测数码管的结构类型（是共阳极还是共阴极）和引脚排序，可从被测数码管的左边第1脚开始，逆时针方向依次逐脚测试各引脚，使各笔段分别发光，即可测绘出该数码管的引脚排列和内部接线。测



(a) 干电池检测法　(b) 万用表检测法

图5 LED数码管的检测

表3　国产BS×××系列LED数码管的代换型号

型 号	主要参数	国内外代换型号
BS224	1位共阳/红色/高亮/8mm	TLR332
BS225	1位共阴/红色/高亮/8mm	TLR331
BS241	1位共阴/红色/高亮/13mm	LTS547R
BS242	1位共阳/红色/高亮/13mm	LTS546R
BS243	1位共阴/红色/高亮/10mm	LTS4740AP
BS244	1位共阳/红色/10mm	LTS4701AP
BS247-2	1位共阴/红色/高亮/30mm	GL8901
BS266	1位共阳/红色/高亮/20mm	HDSP-3401
BS341	1位共阴/绿色/13mm	LTS547G
BS342	1位共阳/绿色/13mm	LTS546G
BS343	1位共阴/绿色/10mm	GL8N056
BS344	1位共阳/绿色/高亮/10mm	LTS4501AG
BS582	1位共阳/橙色/58mm	M01231A
BS583	1位共阴/橙色/58mm	M01231C
2BS246	2位共阳/红色/13mm	TLR325

试时注意，只要某一笔段发光，就说明被测的两个引脚中有一个是公共脚，假定某一脚是公共脚不动，变动另一测试脚，如果另一个笔段发光，说明假定正确。这样根据公共脚所接电源的极性，可判断出被测数码管是共阳极还是共阴极。显然，公共脚如果接电池正极，则被测数码管为共阳极；公共脚如果接电池负极，则被测数码管应为共阴极。接下来测试剩余各引脚，即可很快确定出所对应的笔段来。

2. 万用表检测法。这里以MF50型指针式万用表为例，说明具体检测方法：首先，按照图5（b）所示，将指针式万用表拨至“R×10k”电阻挡。由于LED数码管内部的发光二极管正向导通电压一般≥1.8V，所以万用表的电阻档应置于内部电池电压是15V（或9V）的“R×10k”挡，而不应置于内部电池电压是1.5V的“R×100”或“R×1k”挡，否则无法正常测量发光二极管的正、反向电阻。然后，进行检测。在测图5（b）所示的共阴极数码管时，万用表红表笔（注意：红表笔接表内电池负极、黑表笔接表内电池正极）应接数码管的“-”公共端，黑表笔则分别去接各笔段电极（a~h脚），对于共阳极的数码管，黑表笔应接数码管的“+”公共端，红表笔则分别去接a~h脚。正常情况下，万用表的指针应该偏转（一般示数在100kΩ以内），说明对应笔段的发光二极管导通，同时对应笔段会发光。若测到某个管脚时，万用表指针不偏转，所对应的笔段也不发光，则说明被测笔段的发光二极管已经开路损坏。与干电池检测法一样，采用万用表检测法也可对不清楚结构类型和引脚排序的数码管进行快速检测。

以上所述为1位LED数码管的检测方法，至于多位LED数码管的检测，方法大同小异，不再赘述。

LED数码管使用常识

1. LED数码管一般要通过专门的译码驱动电路，才能正常显示字符。由于LED数码管的品种和类型繁多，所以在实际使用时应注意根据电路的不同选择不同类型的管子。例如，共阴极的LED数码管，只能接入输出为高电平的译码驱动电路，共阳极的LED数码管，只能接入输出为低电平的译码驱动电路。动态扫描显示电路的输出端，只能接多位动态LED数码管。

2. 各厂家或同一厂家生产的不同型号的LED数码管，即使封装尺寸完全相同，其性能和引脚排列有可能大相径庭。反过来，功能和引脚排列相同的LED数码管，外形尺寸往往有大有小。所以选用或代换LED数码管时，只能以它的型号为根据。表3给出了国产BS×××系列LED数码管与国内外其他同类产品的直接代换型号，可供参考。

3. LED数码管属于电流控制型器件，它的发光亮度与工作电流成正比。实际使用时，每段笔划的工作电流取5~15mA（指普通小型管），这样既可保证亮度适中，延长使用寿命，又不会损坏数码管。如果在大电流下长期使用，容易使数码管亮度衰退，降低使用寿命，过大的电流（指超过内部发光二极管所允许的极限值）还会烧毁数码管。为了防止过大电流烧坏数码管，在电路中使用时一定要注意给它串联上合适的限流电阻器。

自制雷电预报器

◎张爱迪

雷雨季节，我们常会看到电光闪闪，听到雷声隆隆，这就是人们常说的雷电。雷电对人类的危害性众所周知，就每家每户而言，雷电发生时常会引起家庭失火、损坏家用电器，甚至危及人身安全！每年的5月～9月是我国雷雨频发的季节，科学预防雷电灾害活动具有极其重要的意义。

如果自己动手制作一个能够预报雷电的报警器，便可在雷雨到来之前，探测出远处天空云层间或云层与大地之间的放电，对雷电进行早期预警。这样，我们可以及时采取相关的防雷击措施，如断开家用电器的电源、拔掉计算机调制解调器的数据传输线、不使用电话和手机等，做到防患于未然!

工作原理

这个雷电报警器的电路如图1所示，它实际上是一个高灵敏度的静电放电检测器。晶体三极管VT1、VT2组成直流耦合式自激振荡电路，其正反馈回路总增益由微调电位器RP来设定。晶体三极管VT3与晶体二极管VD、耦合电容器C4等组成整流开关电路。HA为微型压电陶瓷蜂鸣器。

平时，由晶体三极管VT1和VT2

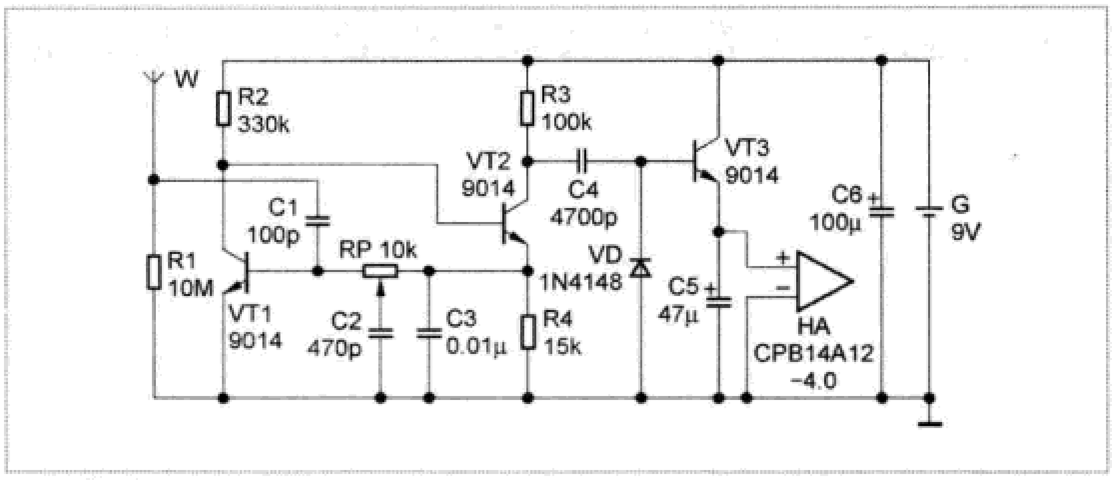


图1 雷电预报器电路图

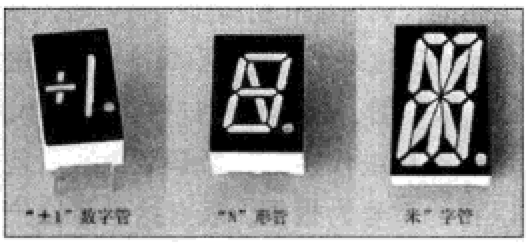


图6 特殊的LED数码管

4. 使用LED数码管时必须注意区分普通亮度数码管和高亮度数码管。通常情况下，用高亮度数码管可以代换现有设备上的普通亮度数码管，但反过来不能用普通亮度数码管代换高亮度数码管。这是因为普通亮度数码管的发光强度I_V≥0.15mcd（毫坎），而高亮度数码管的发光强度I_V≥5mcd，两者相差悬殊，并且普通亮度数码管每个笔段的工作电流≥5mA，而高亮度数码管在大约1mA的工作电流下即可发光。

5. 在挑选国产BS×××系列LED数码管时，应注意产品型号标注的末位编号，以便与译码驱动电路等相匹配。通常产品末位数字是偶数的，为共阳极数码管，如BS206、BS244等；若产品末位数字是奇数，则为共阴极数码管，如BS205、BS325等。但也有个别产品例外，应注意区分。型号后缀字母“R”，表示发红光；后缀字母“G”，表示发绿光；后缀字母“OR”，表示发橙光。

6. 小型LED数码管为一次性产品，即使其中一个笔段的发光二极管在使用中损坏，也只能更换新管。曾见某图书介绍修复数码管内部损坏发光二极管的方法，笔者亲自动手实践，发现根本行不通，只会是徒劳的。因为采用环氧树脂灌封的全密封产品，外壳根本无法打开，强行用刀切割，随着面板的四分五裂，里面的电路和光导材料早已被破坏得面目全非了。

7. LED数码管除了常用的“8”字形数码管以外，较常见的还有图6所示的“±1”数字管、“N”形管和“米”字管等。其中，“±1”数字管能够显示“+1”和“-1”，以及小数点“.”。“N”形管除了具有“8”字形数码管的功能外，还能够显示字母“N”等。“米”字管功能最全，除显示数学运算符号“+”、“−”、“×”、“÷”之外，还可显示A～Z共26个英文字母，常用作单位符号显示。

8. LED数码管的显示面在出厂时贴有保护膜，在使用时可以撕下来。不要用尖硬物去碰触显示面，以免造成划痕等物理损伤，影响显示效果。焊接小型LED数码管宜用20W左右的小功率电烙铁，焊接时间一般不要超过3s，以免烫坏器件本身或线路板。

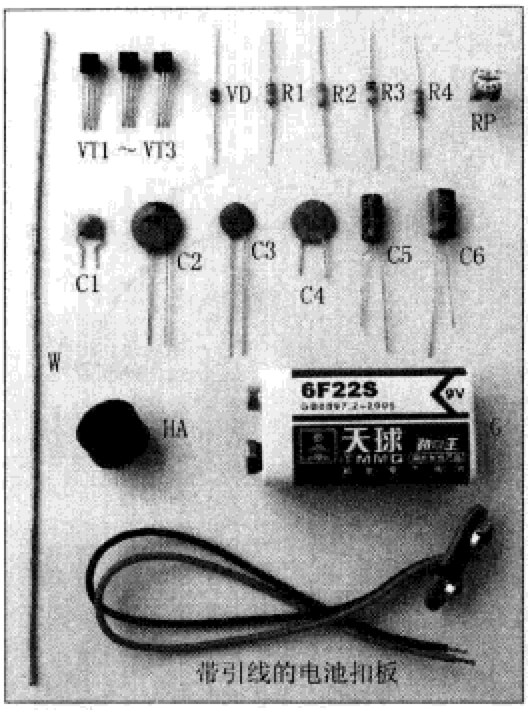


图2 所用元器件实物外形图

组成的振荡电路处于临界自激振荡状态，晶体三极管VT3因无合适偏压而处于截止状态，压电陶瓷蜂鸣器HA无电不工作。此时，整个电路耗电甚微，实测静态总电流≤60μA。每当远处云层放电或已发生雷击（云层与地面之间的放电）时，天线W检测到感应电信号，并经电容器C1耦合到晶体三极管VT1的基极，触发振荡电路起振。于是，VT2的集电极就会输出约42kHz的振荡电信号，经电容器C4耦合、晶体二极管VD整流后，向VT3的基极提供合适的正向偏置电压，使VT3导通，压电陶瓷蜂鸣器HA通电发出单音"嘀——"声，提醒主人：雷电将至，注意预防！

电路中，电容器C3设定了晶体三极管VT2发射极的固定相位，而接在微调电位器RP滑动触点上的电容器C2在振荡时会增加相移。C5为晶体三极管VT3输出电压的滤波兼延时电容器，它不仅能够使压电陶瓷蜂鸣器HA两端获得平稳的工作电压，使HA发声更响亮，而且由于其容量选择比较大，所以还具有一定的使HA延时发声作用。C6为电源滤波电容器，它能够降低电池G的交流内电阻，避免电路产生阻塞振荡，相对延长电池使用寿命。

元器件选择

该制作总共用了19个电子元器件和配件，可对照图2所示的实物集体照一一进行配购。

晶体管VT1～VT3均用9014（集电极最大允许电流I_{CM}=0.1A，集电极最大允许功耗P_{CM}=310mW）型硅NPN小功率三极管，要求电流放大系数$\beta>200$。实际上任何同类型的小功率、高增益晶体三极管（如3DG8、BC109C等），都可以在这里使用。VD用1N4148型硅开关二极管。

HA选用CPB14A12-4.0型自带音源微型直流压电陶瓷蜂鸣器，其外形尺寸及引脚排列如图3所示，它实质上是一个内含振荡电路和压电陶瓷片的有源发声器，它不需要外加任何音频驱动电路，只要接通直流电源就能直接发声，使用非常方便。CPB14A12-4.0的主要参数：外形尺寸为ϕ14mm×7.5mm，重量0.9g，发声频率为4.0±0.5 kHZ（连续单音），声压电平≥80dB，直流工作电压范围3V～15V，工作电流≤7mA，工作温度范围-20℃～70℃。该压电陶瓷蜂鸣器属于微功耗器件，被广泛应用在各种仪器、仪表和微型报警装置上作发声器件。RP选用普通塑料封装的小型卧式微调电位器。R1～R4一律用RTX-1/4W型碳膜电阻器。C1、C2用CC1型高频瓷介电容器，C3、C4用CT1型低频瓷介电容器，C5、C6用CD11-16V型电解电容器。天线W可用一段ϕ1mm、长度150mm的铁（铜）丝。如果希望作品更美观一些的话，可选用便携式收音机常用的150mm长度的拉杆天线。G采用6F22-9V型叠层干电池，要求配上揿钮式接线扣板。本装置不设电源开关，用毕从揿钮式接线扣板上取下干电池即可。

制作方法

整个制作过程可分为焊接电路、调试电路和组装3大步骤来完成，现分步介绍如下：

第1步，焊接电路。首先，裁取一块尺寸约为35 mm×20mm的单孔"洞洞板"，按照图4给出的电路板接线图进行焊接（注意：焊接面朝向读者，元器件在板的背面）。焊接时充分利用元器件引脚飞线连接，要求焊点光

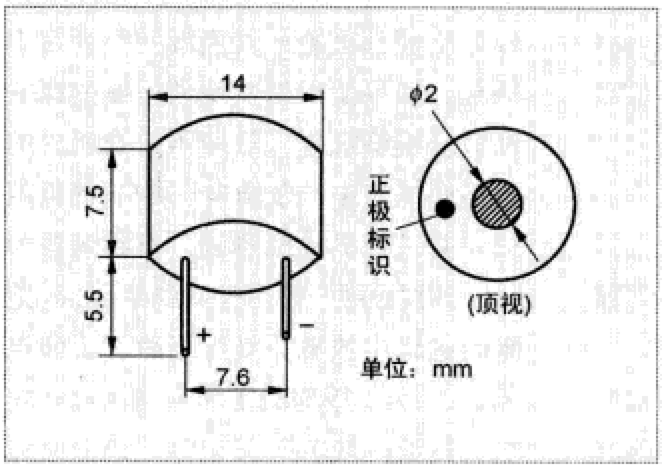


图3 CPB14A12-4.0型压电陶瓷蜂鸣器

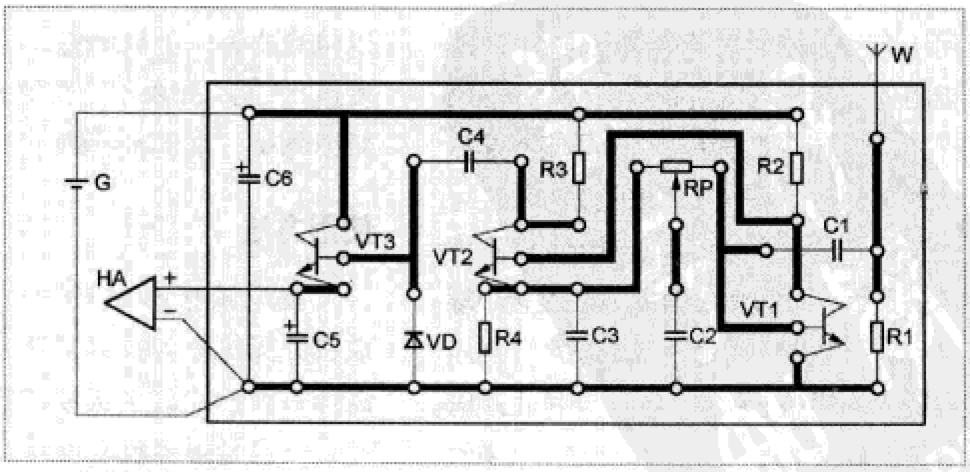
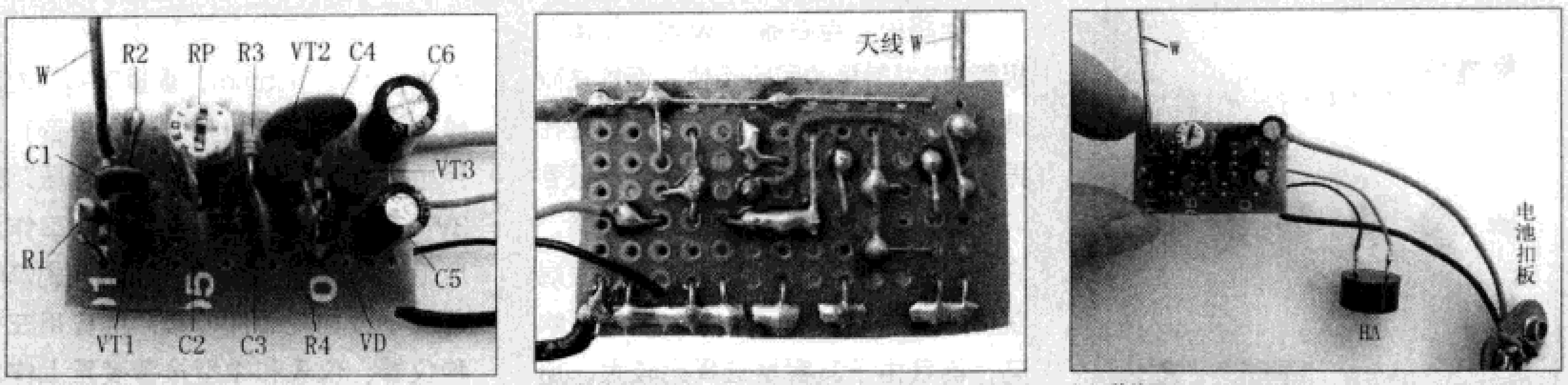
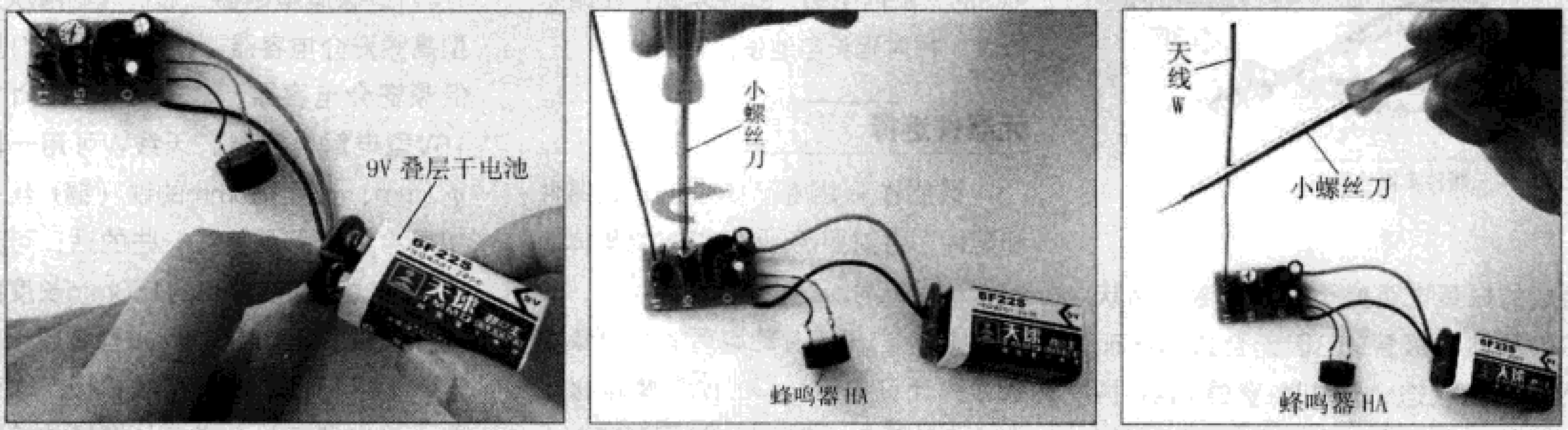


图4 "洞洞板"接线图



(a) 元件面　(b) 焊接面　(c) 整体图

图5 焊接好的电路



(a) 接通干电池 G　(b) 微调电位器 RP　(c) 触发天线 W

图6 电路的调试

亮整洁。采用“洞洞板”的好处是取材简便、成本低廉、使用方便，可达到事半功倍的效果。焊接时注意，压电陶瓷蜂鸣器HA通过4cm长的两根细电线焊接在“洞洞板”上，电池扣板的引线长度以7cm左右为宜。焊接好的实物如图5所示。

第2步，调试电路。焊接好的电路，经检查无问题后，便可按图6（a）所示接通9V叠层干电池，开始进行调试。具体方法：首先，按照图6（b）所示，用小螺丝刀缓慢调节微调电位器RP的电阻值，使压电陶瓷蜂鸣器HA处于临界发声状态（即振荡电路处于临界起振状态）。调节RP电阻值的技巧是，可预先将小螺丝刀逆时针旋转至HA不发声，接着一边缓慢顺时针方向旋转小螺丝刀，一边听HA是否开始发声。当压电陶瓷蜂鸣器HA发声时，即停止顺时针方向旋转小螺丝刀，并反方向（逆时针）稍退回一点点，使HA停止发声，即获最佳工作状态。

然后，按照图6（c）所示，用小螺丝刀或手指直接去触及一下天线W，则压电陶瓷蜂鸣器HA应发声1s～2s。如果HA连续发声或根本不发声，则说明探测器的灵敏度过高或太低，应重新微调RP，再进行检测，直到符合要求。还可以用塑料梳子连续梳干燥的头发十多下，使塑料梳子与头发摩擦后带上静电，在距离天线W约2m远的地方用手指逼近塑料梳子使其放电，以检验能否让压电陶瓷蜂鸣器HA可靠发声1～2s。如果不符合要求，亦应重新细调RP，直至达到要求为止。

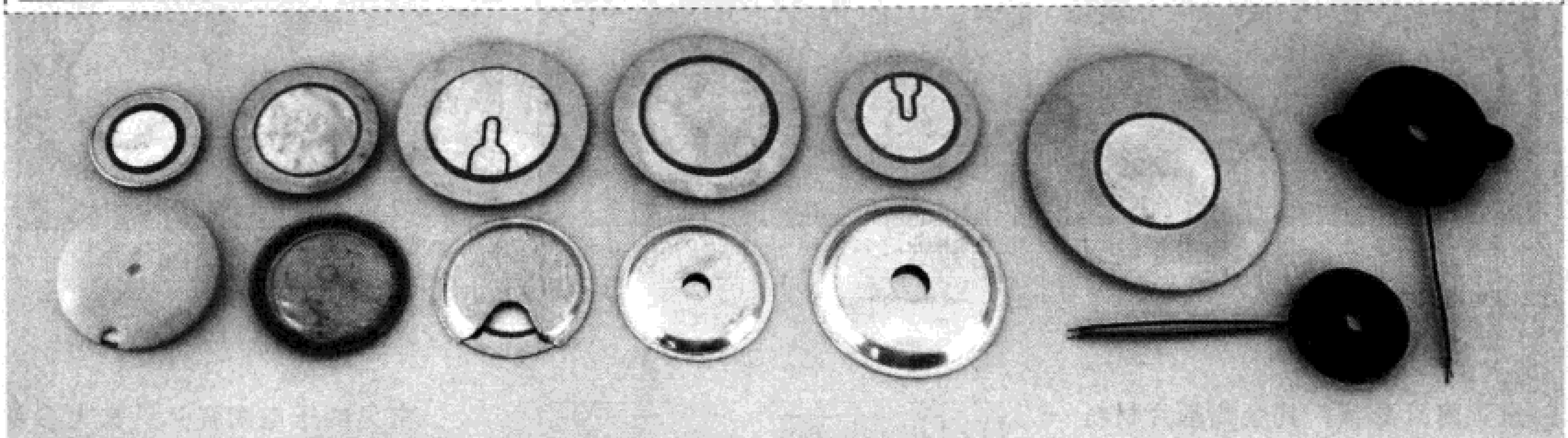
使用方法

雷电预报器做成功以后，可摆放在计算机桌旁或经常有人的地方，进行每天24小时全天候的雷电预报工作。一旦预报器反复发声，在排除其他静电放电干扰的情况下，便说明雷电即将到来。

需要指出的是，该预报器不仅能够探测静电放电，而且还能探测附近各种电器产生的“电火花”。每当开关附近的电灯或其他用电器的电源开关时，“天线宝宝”均会发声1～2s。而如果房间空气比较干燥时，人体就会带上较高的静电，当用手去接触金属门拉手或其他物体时，只要产生静电放电，亦会触发不远处的“天线宝宝”发声1～2s。使用中应注意加以区分，不要预报器一发声就判断为雷电将至。如果使用中发现预报器的探测灵敏度不够理想，可按照前面所讲的电路调试方法，微调电位器RP的电阻值，并进行灵敏度测试，直到满意为止。该预报器一般可检测到半径5km范围内的云中放电。其电路静态工作电流≤60μA，报警时工作电流为4mA左右。每换一块9V新干电池，通常可连续监控一年时间。

常用元器件的识别与使用（十七）

◎张晓东



可逆向换能的压电陶瓷片

压电陶瓷片是电子爱好者使用最为普遍的一种能够逆向换能的电声元件，它既可用作发声器（“电—声”转换），又能用作声音检拾器（“声—电”转换），还可作为力敏传感器等，其特点是结构简单、超薄型（一般厚度小于1mm）、功耗低、灵敏度高、可逆向转换信号、耐高压（即使两端施加100V电压也安然无恙）、不易损坏、价格便宜、使用方便。

压电陶瓷片用途非常广泛，其派生产品种类较多，功能不一，品种五花八门。因此，初学者很有必要掌握压电陶瓷片的识别与正确使用方法。

如何识别压电陶瓷片

1. 结构及特点

压电陶瓷片是用一种叫做锆钛酸铅或铌镁酸铅的特殊人工合成陶瓷材料制造的。常见的压电陶瓷片大多做成图1所示的很薄的圆片，它的一面烧结在具有良好弹性的圆形薄黄铜（或不锈钢）基片上，另一面镀上一层薄银。金属基片和镀银层即为压电陶瓷片的两个电极。

压电陶瓷片的基本特性是具有“压电效应”：陶瓷片在受到来自垂直方向的外来压力时，随着片子的弯曲变形（几何形状发生改变），陶瓷片的两电极面会产生电压，并且电压大小与压力变化成正比。利用这个特性，可以将压电陶瓷片作为压力变化（或振动波）传感器，通过电子电路对某处受力情况的瞬时改变进行监控等，这在实践中是很有用的。相反，如果在压电陶瓷片的两个电极面加上直流电压，压电陶瓷片就会产生相应的机械变形（即“逆压电效应”）。改变所加电压的极性和大小，压电陶瓷片形变的方向和强度也随之改变。可想而知，如果加在压电陶瓷片上的是交变或脉冲电压，压电陶瓷片就会随之产生振动。当外加电压频率与压电陶瓷片固有的谐振频率相同时，所产生的振动最为强烈。常见的压电陶瓷片谐振频率为2.2～20kHz，在电路中常将它们作为“电—声”换能元件，用于对发音质量要求不是很高的电路中。人们喜爱的音乐贺卡就是用压电陶瓷片发声的。某些谐振频率较高的压电陶瓷片，还可用作超声波换能器等。

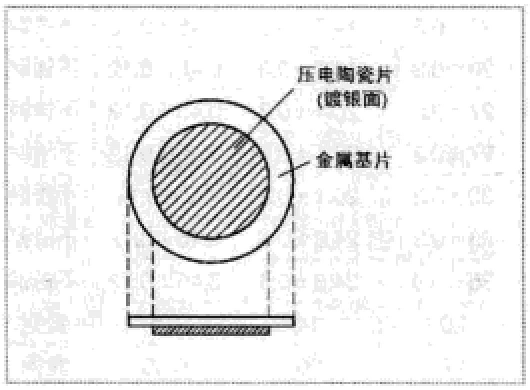


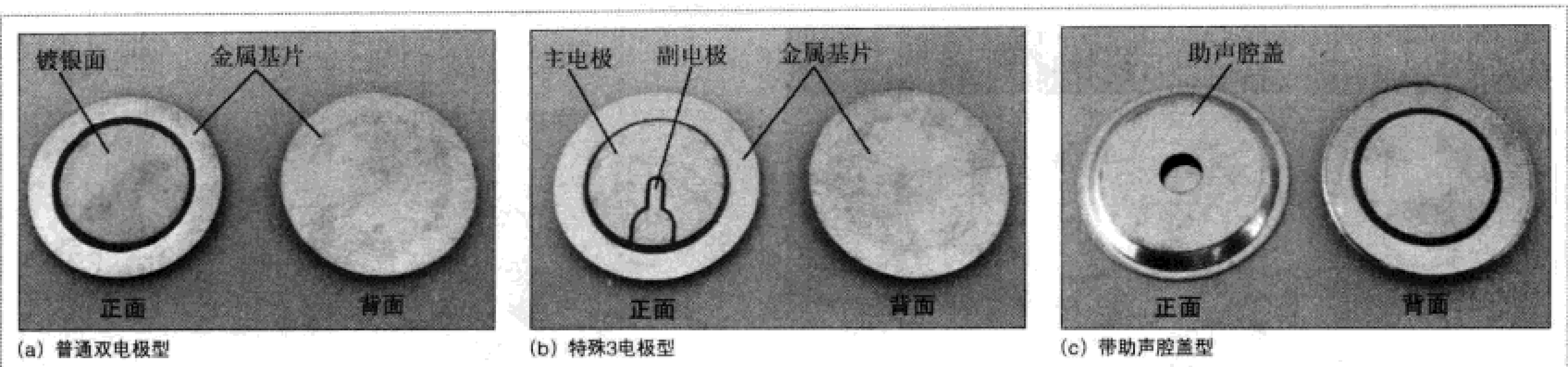
图1 压电陶瓷片结构图

大家知道，声音是依靠空气的振动来传播的，当我们对着压电陶瓷片说话时，声波的压力便会为压电陶瓷片所感受，就会被转换为相应的电压变化，以微弱的电能形式输出。这样，我们就可以将压电陶瓷片作为“声—电”换能元件，用在声音检拾、声控等电路中。

压电陶瓷片结构简单，换能效率高，占用空间小，安装使用都很方便。由于构成压电陶瓷片的陶瓷材料直流电阻非常大，可视为绝缘体，这样陶瓷片两面的银层和金属片无形中便构成了电容器的两个极板，极板面积越大，电容量也越大。所以，压电陶瓷片呈电容特性，其电容量一般为4000pF～0.05μF。

2. 外形和种类

常用压电陶瓷片的外形几乎全



(a) 普通双电极型　(b) 特殊3电极型　(c) 带助声腔盖型

图2 压电陶瓷片实物外形图

部是圆薄片形状，其金属基片材料主要有弹性良好的黄铜片和不锈钢片两种，金属基片直径有φ12mm、φ16mm、φ20mm、φ27mm、φ30mm、φ35mm、φ41mm、φ50mm、φ56mm……多种。大多数压电陶瓷片只有图2（a）所示的两个电极（即镀银面和金属基片），但某些压电陶瓷片的镀银面被分割成图2（b）所示的一大一小两部分，形成主电极和副电极（也称反馈极），加上金属基片电极，就成为3电极压电陶瓷片（也称“三端压电陶瓷片”）。这种特殊的3电极压电陶瓷片，是专门配合具有反馈接线的振荡器电路设计生产的，在成品压电陶瓷蜂鸣器中得到广泛应用。

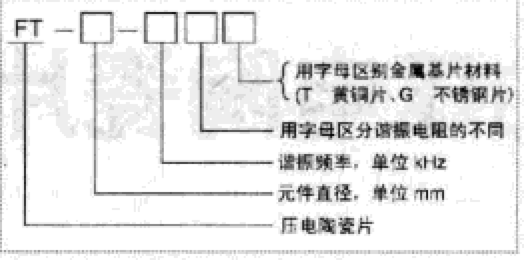


图3 国产压电陶瓷片的命名规则

附表　部分国产压电陶瓷片的性能参数

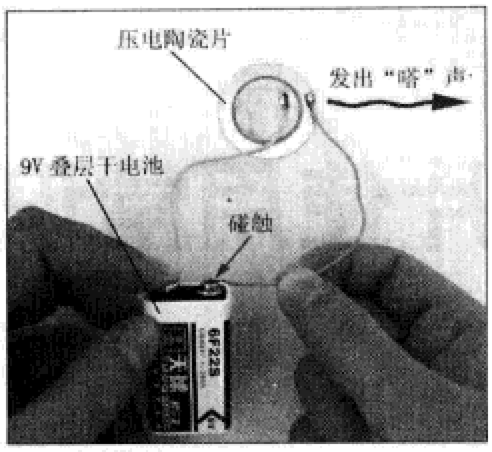
型号	性能参数			尺寸			基片材料
	谐振频率f_O (kHz)	谐振电阻R_O(Ω)	电容量C(pF)	金属片直径D(mm)	陶瓷片直径d (mm)	总厚度T (mm)	
FT-10-20AT	20±1.5	≤500	1000±20%	10±0.3	7±0.3	0.25±0.08	黄铜
FT-16-10AT	10±1.2	≤500	4000±20%	16±0.3	12±0.3	0.25±0.08	黄铜
FT-20-6.6AT	6.6±1.0	≤200	10000±30%	20±0.3	14.7±0.3	0.45±0.12	黄铜
FT-20-6.6BT	6.6±1.0	≤200	8000±30%	20±0.3	14.7±0.3	0.45±0.12	黄铜
FT-27-4.0AT	4.0±0.6	≤150	20000±30%	27±0.3	20.1±0.3	0.54±0.12	黄铜
FT-27-4.1BT	4.1±0.7	≤200	14000±30%	27±0.3	20.1±0.3	0.54±0.12	黄铜
FT-35-2.6AT	2.6±0.5	≤150	30000±30%	35±0.3	24.8±0.4	0.54±0.12	黄铜
FT-35-2.6BT	2.6±0.5	≤200	30000±30%	35±0.3	24.8±0.4	0.54±0.12	黄铜
FT-41-2.2AT	2.2±0.4	≤200	50000±30%	41±0.3	35±0.4	0.54±0.12	黄铜
FT-10-21AG	21±1.5	≤500	1000±20%	10±0.3	7±0.3	0.25±0.08	不锈钢
FT-20-7.0AG	7±1.0	≤200	10000±30%	20±0.3	14.7±0.3	0.45±0.12	不锈钢
FT-20-7.0BG	7±1.0	≤200	8000±30%	20±0.3	14.7±0.3	0.45±0.12	不锈钢
FT-27-4.3AG	4.3±0.6	≤150	20000±30%	27±0.3	20.1±0.3	0.45±0.12	不锈钢
FT-27-4.1BG	4.1±0.7	≤200	14000±30%	27±0.3	20.1±0.3	0.45±0.12	不锈钢
FT-32-4.5AG	4.5±0.6	≤200	20000±30%	32±0.3	20.1±0.2	1.2±0.12	不锈钢
FT-35-2.9AG	2.9±0.5	≤150	30000±30%	35±0.3	24.8±0.4	0.45±0.12	不锈钢
FT-35-2.9BG	2.9±0.5	≤200	30000±30%	35±0.3	24.8±0.4	0.45±0.12	不锈钢
HTD20A-1	6.0	≤150	<20000	20	14	0.4	黄铜
HTD27A-1	4.5	≤150	<30000	27	20	0.55	黄铜
HTD35A-1	2.9	≤150	<40000	35	25	0.55	黄铜

常见的压电陶瓷片厂家大多都配带有简易的塑料或金属助声腔盖（也叫共振腔盖或共鸣腔盖），如图2（c）所示，其作用是在压电陶瓷片与助声腔盖之间形成一个共鸣腔，显著增大压电陶瓷片的发声音量或改善检拾声波信号的灵敏度。实际上各种电子产品中使用的压电陶瓷片，大多数都离不开这种简易助声腔盖。

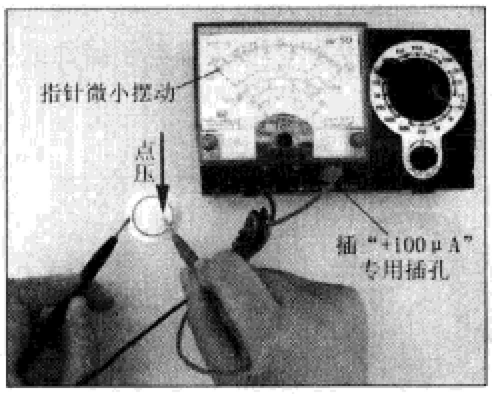
3. 参数与型号

表征压电陶瓷片各项性能指标的参数主要有谐振频率f_O、谐振电阻R_O、电容量C等，另外还有反映外部尺寸大小的金属片直径D、陶瓷片直径d和总厚度T等。一般D越大，则压电陶瓷片的低频特性越好。阻抗与d/D的比值有关，该值越小，则阻抗越高。附表列出了部分国产压电陶瓷片的主要参数，供参考。

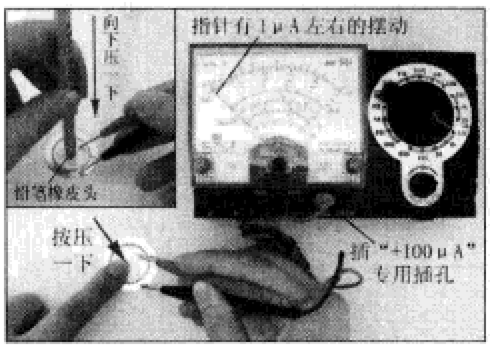
国产FT系列压电陶瓷片的型号命名格式和含义如图3所示。其字母“FT”表示压电陶瓷片，后面的第1个空格位置是一组数字，表示压电陶瓷片的直径，单位是mm；第2个空格位置也是一组数字，表示压电陶瓷片的谐振频率f_O，单位是kHz；第3个空格位置是字母“A”或“B”，主要区分同一型号中谐振电阻R_O或电容量C等参数的不同，最后面的空格位置用字母区别压电陶瓷片金属基片材料的不同，其中“T”代表黄铜片，“G”代表不锈钢片。显然，使用者通过型号



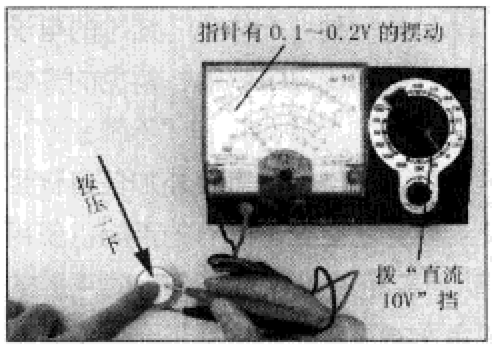
(a) 干电池检测法



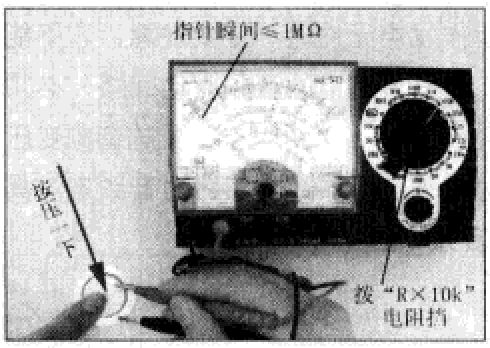
(b) 表笔点压法



(c) 手指（铅笔）按压法



(d) 电压检测法



(e) 电阻检测法

图4 压电陶瓷片的检测

就能够直接掌握到压电陶瓷片的直径大小、谐振频率、基板材料等主要特征参数。但许多场合往往省略掉型号格式后面3个空格位置的内容，将型号简化为“FT-□”格式，如FT-27、FT-35等。这时，通过型号就仅能够获知压电陶瓷片的直径大小这一项参数了。

另外，早期国产的压电陶瓷片还采用了“HTD□□-□”格式命名型号，常见型号有HTD20A-1、HTD27A-1、HTD35A-1等，其中的字母“HTD”表示“压电陶瓷片”，数字“20”、“27”和“35”分别表示压电陶瓷片的直径，单位是mm。

如何使用压电陶瓷片

1. 简易测试方法

欲检查压电陶瓷片的好坏或性能，在业余条件下可采用以下几种行之有效的方法。

（1）舌尖检测法。将压电陶瓷片的两极引线触及舌尖，用手指稍用力挤压压电陶瓷片的两极面，若舌尖产生淡淡的咸味感，说明压电陶瓷片是完好的。如用手指弹击压电陶瓷片，若舌尖有麻电感，亦说明压电陶瓷片是完好的。检测时在舌尖产生的感觉越强烈，说明被测压电陶瓷片的性能越好。如果两种检测法在舌尖所产生的感觉非常微弱或完全没有感觉，说明被测压电陶瓷片灵敏度太低或压电效应已经丧失，不宜再接入电路使用。检测时挤压或弹击压电陶瓷片用力要适当，以免人为损伤压电陶瓷片，同时，还要注意口腔卫生，检测完毕后应及时用清水漱口！

（2）干电池检测法。按照图4（a）所示，取一节6F22-9V型叠层干电池（电压越高检测效果越明显），将压电陶瓷片的两个电极引线一根接干电池的某一极，另一根去碰触一下干电池的另外一个电极，这时会听到压电陶瓷片发出较响亮的“嗒”声，再次碰触时，几乎没有声音了，对调一下引线头再去碰，“嗒”声又现。这表明被测压电陶瓷片是好的，发声越响，说明压电陶瓷片的性能越好。如果始终无声，就说明这只压电陶瓷片已经损坏了。

（3）万用表检测法。这里以MF50型指针式万用表为例，说明具体检测方法：首先，按照图4（b）所示，将万用表的表笔接在“100μA”直流电流测量挡插孔。然后，将被测压电陶瓷片的镀银面朝上，放在平整的桌面上，用万用表的一个表笔去接触压电陶瓷片的金属基片，另一个表笔去接触压电陶瓷片的镀银面，并轻轻地略向下压一下。每接触一次，万用表指针都应有微小摆动，摆动幅度越大，说明质量越好，否则说明其内部已经损坏。如果检测时万用表指针反方向摆动，只要调换一下测试表笔即可调整过来。还可按照图4(c)所示，保持万用表两表笔的接触不动，再用手指（或铅笔的橡皮头）轻轻压在陶瓷片上，此时万用表指针会有1μA左右的单向摆动；松压后，指针将反向摆动。同样的，指针摆动幅度越大，说明被测压电陶瓷片性能越好；指针没有摆动，说明被测压电陶瓷片已损坏。

还可用测输出电压的方法进行检测，具体方法：按图4（d）所示，将万用表拨至“直流10V”挡，按上面介绍的任何一种方法进行测量，万用表指针将会有0.1~0.2V的摆动。摆幅越大，说明被测压电陶瓷片的灵敏度越高，性能也越好。如果指针没有摆动，说明被测压电陶瓷片已经损坏。

由于压电陶瓷片的两极间呈现电容特性，所以对于性能良好的压电陶瓷片，在用万用表“R×10k”电阻挡测两极间电阻时，万用表指针只在表笔接通瞬间抖动一下——如同检测小容量的电容器，然后恢复至“∞”。如果按照图4（e）所示，用手指（或铅笔的

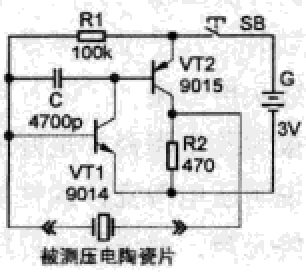


图5 压电陶瓷片鉴别器电路图

橡皮头）轻轻按压陶瓷片，则电阻值瞬间应≤1MΩ，随后仍恢复为"∞"。否则，就说明被测压电陶瓷片有问题，已失去接入电路使用的价值。

（4）鉴别器检测法。笔者多年前曾根据压电陶瓷片的特性，设计制作了一个能够快速、批量判断压电陶瓷片好坏及性能的小巧鉴别器，其电路如图5所示。晶体三极管VT1、VT2组成两级直接耦合式低频放大电路，在其输入端（VT1基极）和输出端（VT2集电极）之间接入被测压电陶瓷片，使电路形成自激多谐振荡。这里，压电陶瓷片既是正反馈元件（等效为电容器），又是发声器件。当按下自复位按钮开关SB后，如果被测压电陶瓷片发出连续的"嘟——"声，则证明完好；若不发声，则说明已损坏。发声响，说明被测压电陶瓷片"电—声"转换效率高，性能良好；发声小，说明转换效率低，性能差。

制作时，VT1采用9014型硅NPN小功率晶体三极管，VT2采用9015型硅PNP小功率晶体三极管，均要求电流放大系数$\beta<100$。R1、R2均用RTX-1/8W型碳膜电阻器。C用CT1型低频瓷介电容器。SB用6mm×6mm小型轻触式按键开关。G用两节5号干电池串联（3V）而成，亦可用1粒CR2032型纽扣式电池（电压3V、体积ϕ20mm×3.2mm，应配套电池座）供电。整个电路可焊装在一个体积合适的塑料小盒内，盒面板开孔固定自复位按钮开关SB和接通压电陶瓷片引线的两个小插孔。

压电陶瓷片使用常识

◎张爱迪

压电陶瓷片作为一种多用途、可逆向换能的电声元件，是构成压电蜂鸣器、压电扬声器、压电传感器、超声波（次声波）发射头和接收头等电子器件或模块、组件的关键元件。

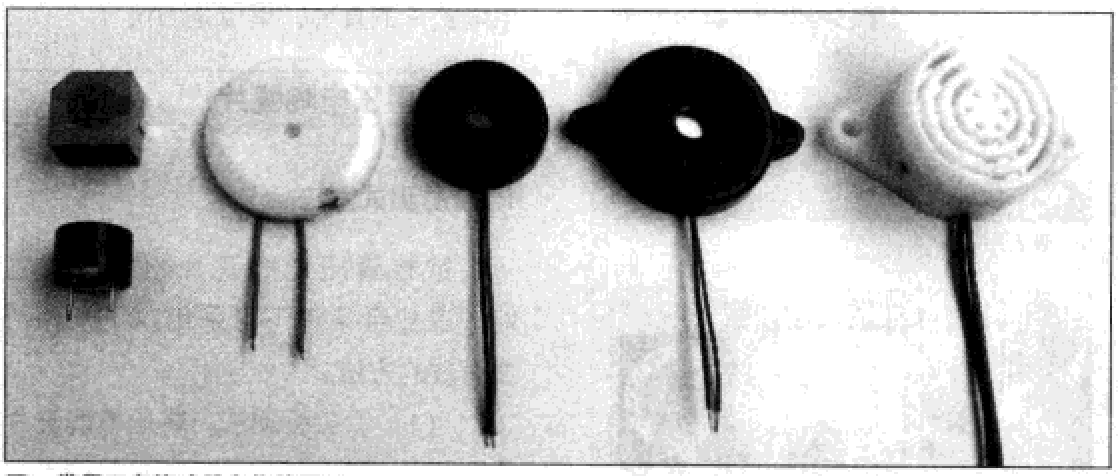


图1 常用压电蜂鸣器实物外形图

压电蜂鸣器也叫讯响器、音响器，它实际上是一种"一体化"结构的电子发声装置。用压电陶瓷片作发声元件制成的蜂鸣器叫压电蜂鸣器，常见的实物外形如图1所示。压电蜂鸣器按有无"音源"分为"自带音源"和"不带音源"两大类。前者内部设有产生音源信号的电子电路，工作时不需要外加任何音频驱动电路，只要按要求接通电源（直流或交流电）就能发出固有的声响，使用极其方便，后者则需要相应的音频信号驱动，实际上仅仅是一个带助声腔的"扬声器"而已。带助声腔盖压电陶瓷片在用于发声电路时，就是一个最简单的无源式压电蜂鸣器。

由于压电陶瓷片呈电容特性，所以在用作发声元件时一定要注意：它不能像电动式扬声器、电磁式耳机那样直接串入通有直流电的音频驱动回路，必须要按图2所示的那样，在其两端并接电阻器或电感器（采用阻抗匹配的音频变压器效果更佳），以使直流电顺利通过。同时由于电阻器或电感器对音频电流具有阻碍作用，因此不会造成压电陶瓷片两端音频电压的短路。

压电扬声器具有结构简单、成本低廉、驱动功率小的特点，以前曾大量应用于农村有线广播网。但它的频率特性较差，尤其是低音频特性更差，目前只应用在对音质要求不高的地方。同样的原因，用压电陶瓷片制作话筒（传声器）不是不可能，而是声频还原性相对于常用的驻极体话筒等要差。但在业余电子制作中，经常可见到用压电陶瓷片作为话筒的实例。用压电陶瓷片制作的各式各样的压电蜂鸣器，则被广泛应用于各种电子玩具、钟表、计算器、电话、手机、报警器、呼叫器及小型智能化电子装置中。

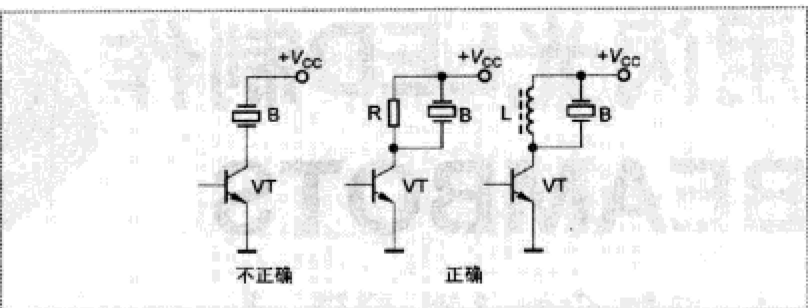
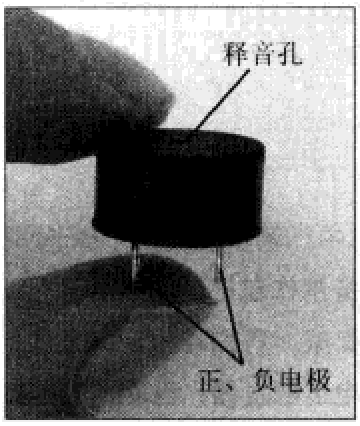
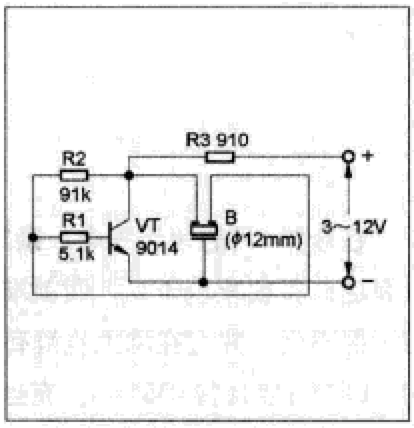


图2 压电陶瓷片的连接方法

压电陶瓷片在使用时应给它焊接上合适的电极引线。焊接时注意，电烙铁功率应≤20W，在边缘的金属基片上焊接引线的时间不应超过3s，在中间的镀银面上焊接引线的时间应限制在1s左右，否则极易烫裂压电陶瓷层及其镀银层。尤其是在镀银面上焊接引线时，电烙铁头在焊点上停留的时间过长，将会导致极薄的镀银层破裂，露出浅黄（灰）色的陶瓷。这样，此处将不能再焊接，需换一处地方重新焊接。如果镀银层破裂面积太大，将会影响压电陶瓷片的正常工作。焊接前，如果金属片的焊点有污物，可用小刀轻刮，但镀银面切不可用刀刮，如将镀银层刮掉就无法进行焊接了。另外，压电陶瓷片的引线没有极性之分，焊接点选择也没有特别的要求，但通常情况下焊接位置宜靠近压电陶瓷片的圆片边缘处，尽量不要焊在中间位置，焊接引线宜用多股软电线，不要用太硬、太粗的电线，以免影响发音效果。



(a) 外形图



(b) 电路图

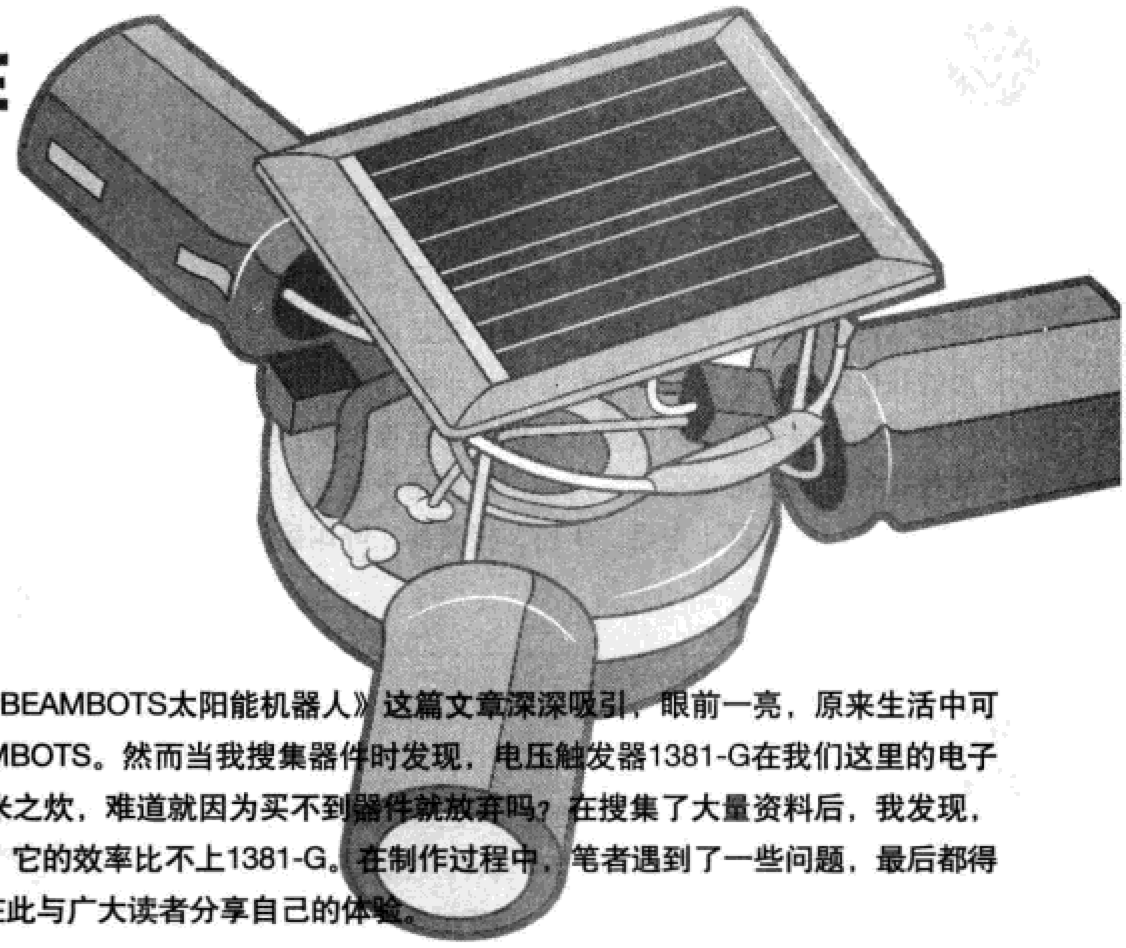
图3 3电极压电陶瓷片应用实例

具有两块镀银层（面积小的为副电极银层）的3电极压电陶瓷片，是专门配合具有反馈接线的振荡器电路设计生产的，它在成品有源压电蜂鸣器中应用很普遍。笔者通过解剖图3（a）所示的某小型直插式长鸣声压电蜂鸣器（ϕ14mm×7.5mm、工作电压3~12V、发声频率4.5kHz），测绘出了图3（b）所示的内部电路图。显然，应用3电极压电陶瓷片，既能够确保振荡电路稳定可靠地工作，又能够简化电路（仅用一个晶体三极管等）。

在电子制作或维修时，如果发现所用的3电极压电陶瓷片（也称“三端压电陶瓷片”）已经损坏，而手头一时没有合适的替换品，可不妨用一个大小相同的普通双电极压电陶瓷片加工改造后代替，具体方法是：参照已损坏3电极压电陶瓷片上副电极银层的面积大小和形状，在双电极压电陶瓷片的镀银面上用铅笔画出完整的“分界线”，并用尖刀仔细刮掉铅笔画线所覆盖着的镀银层，露出浅黄（灰）色的陶瓷。这样，一个自己加工的3电极压电陶瓷片即大功告成！

构成压电陶瓷片的陶瓷材料既薄又脆，在运输或使用过程中必须做到轻拿轻放，防止从高处跌落、剧烈撞击或敲打，否则会造成陶瓷材料的破裂，导致产品失效。在测试时应注意，不要让万用表表笔等尖硬物划伤陶瓷片表面的镀银层。由于压电陶瓷片的电极易氧化，所以应注意保持表面的清洁，并尽可能地密封储存，以免电极氧化而影响使用性能。

用闪光LED制作BEAMBOTS太阳能机器人



◎王超

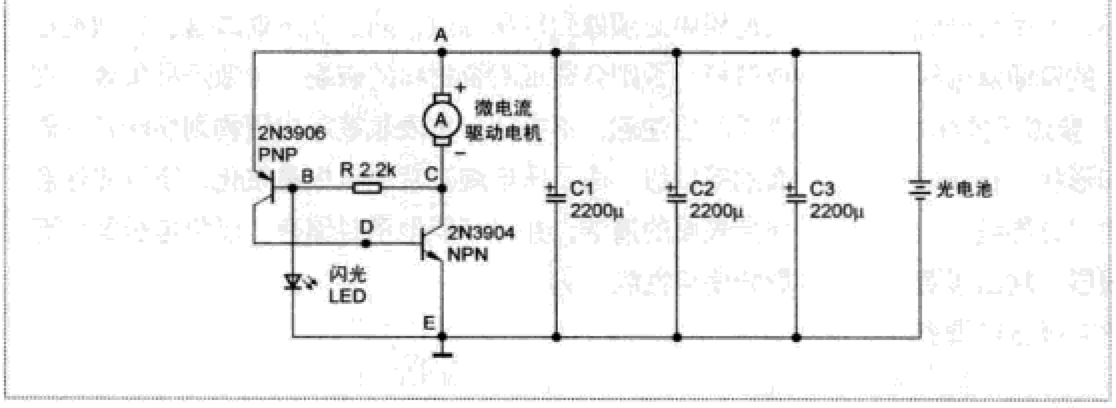
在今年4月的《无线电》杂志中，笔者被《两个BEAMBOTS太阳能机器人》这篇文章深深吸引，眼前一亮，原来生活中可以有这么多创意！于是，我就准备制作自己的BEAMBOTS。然而当我搜集器件时发现，电压触发器1381-G在我们这里的电子市场买不到，并且在网上也鲜有卖家。巧妇难为无米之炊，难道就因为买不到器件就放弃吗？在搜集了大量资料后，我发现，闪光LED可以代替1381-G，充当电压触发器，当然，它的效率比不上1381-G。在制作过程中，笔者遇到了一些问题，最后都得到了解决，算是国外电路“本土化”的一个过程，在此与广大读者分享自己的体验。

工作原理

当太阳能电池对电容进行充电时，电容上的电压将增加。此时A点电位相对E点升高，进而B点电位相对E点也升高，当B点电位达到闪光LED的工作电压时，闪光LED导通，有电流从A→C→B→E。而此时电流没有达到最大值，因为此电流首先流经电动机，电动机的转子上有线圈，此线圈可看成一个电感，由于电感上的电流不能突变，致使电流只能慢慢增加，不能一蹴而就。当电流增加到大约250μA时，A和B之间电压大致达到了250μA×2.2kΩ=0.55V（忽略电动机上的压降）。A，B之间的电压就是PNP晶体管的发射极与基极之间的电压，此时PNP晶体管VT1导通，有电流从PNP晶体管的集电极流向NPN晶体管的基极，然后NPN晶体管导通。

一鸣惊人的时候到了！

电容两端的电压可近似看为直接加在了电动机的两端，电动机就转起来了。我们要的是电动机持续转动一段时间而不只是一瞬间，所以接下来就要正反馈来展现它的“魔法”了。



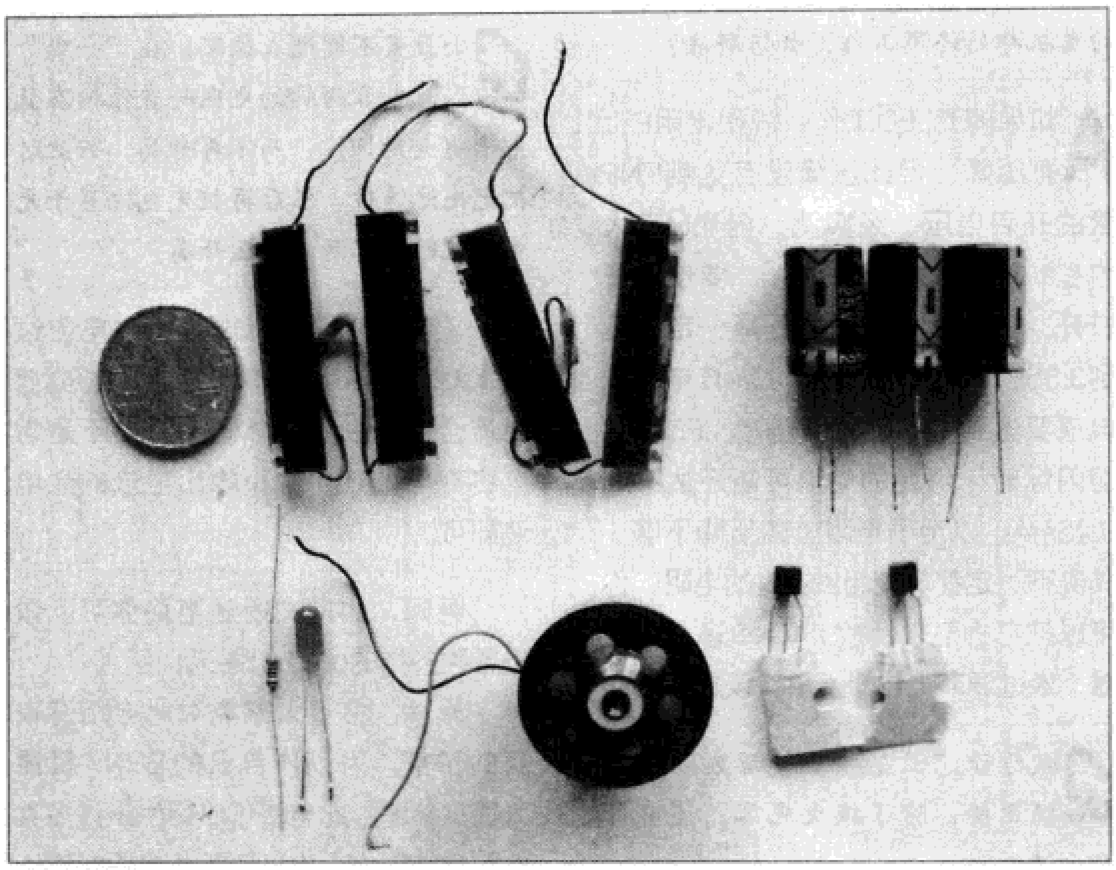
笔者采用的电路

鉴于NPN晶体管的导通，C点电位近似看为0V，原先从C→B的电流反向了，变为B→C。由于电容的放电，B点电位下降，闪光LED不再工作，可把B、E两点之间看为开路。由于B到C的电流流经电阻R，电阻R开始为PNP晶体管的基极提供导通电流，由于PNP晶体管依然导通，进而NPN晶体管也导通，所以电动机上的电压还可由电容直接提供。伴随着电动机的转动，电容上的电压也在下降，当电容上的电压下降到大约1V时，晶体管均不再导通，电动机也就失去了能量补给。

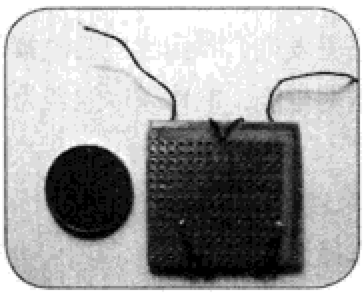
器件选择与具体制作

1. 选电动机

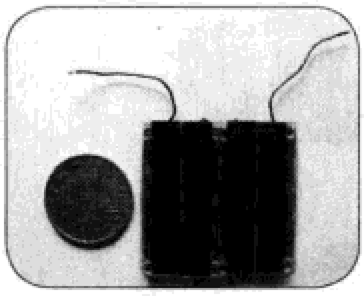
笔者的电动机源自光驱，此电机的直流电阻值大约为10Ω。在选择电机时，一定要选择驱动电流小的。一般光驱和随身听上的电机都可满足要求。在确定使用此电机前，可在2200μF的电容上充电，充电电压在2V



所用元器件



把光电池固定在洞洞板上



光电池

左右。在电容充满电后，将电容与电机相连，如果电机转动且有力度，那此电机就可胜任。

2. 安装电容

将3个2200μF、耐压值在16V以下的电解电容的一条引脚弯曲，用胶粘在电动机尾部3个顶点上（三顶点将电机尾部三等分）。笔者的“小卫星”的总电容为3×2200μF=6600μF，虽然大电容意味着电机可以“一鸣”的时间长一点，但大电容的体积和重量可能会使小机器人动弹不得！最好是选择体积小，重量轻的电容。

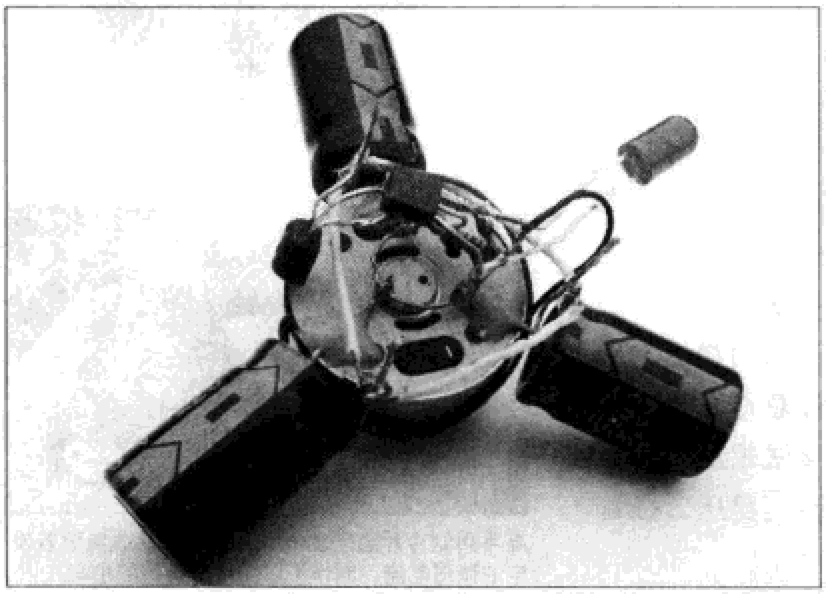
3. 选光电池

笔者的光电池是从计算器上获得的，在制作中共用了4片，将4片串联在一起。经实际测量，每片光电池的最大输出电压为3.2V左右，最大输出电流在3.2mA左右。笔者建议使用电压高的光电池组，因为电压高可以一直为电容充电。不过，光电池的输出电流不能太大，笔者原先的制作选用了太阳能风扇帽的光电池（V_{max}=3V，I_{max}=330mA），在强光下，此电池直接就驱动电机了，所以不能选用此类大电流光电池。

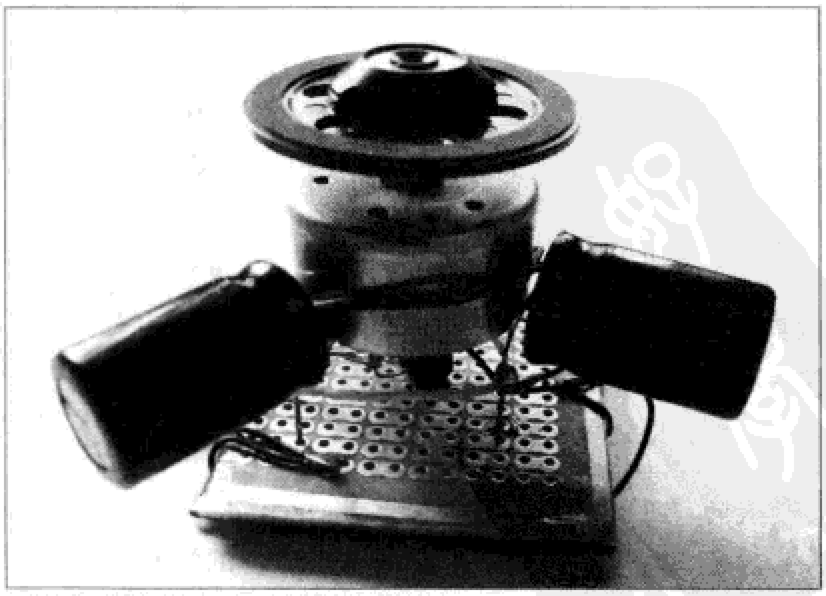
笔者将4片光电池固定在一小块洞洞板上，洞洞板覆铜的一面用于与电容引脚焊接。因为电路的连接简单，可以在电机的尾部直接将元件进行焊接，而不需PCB。你也可以将元件焊在笔者上文所述的光电池组背面的覆铜面上。 再将电容的引脚接在光电池组背后的覆铜面上，并焊接。大功告成了！你现在可以“放卫星”了！

调试

如果你的“小卫星”一直“沉默寡言”，从未“鸣”过，请看后面的解决方案。



把电机尾部直接焊接元件



将电容引脚焊接到光电池组背后的覆铜面上

Q 表面上，“小卫星”在制作后从未“一鸣惊人”，用万用表对电容电压测试发现：电压在有光照时持续上升，但升高到一定值时不再增加，也不下降，为什么？

A 可能是光电池组的电压不够，通常有两方面的原因:一是光照强度不够，二是光电池组自身的电压输出能力不足。输出电压低则不能和电容间形成大的电压差，以至于充电的最后阶段无法达到触发电压，可以选用更高电压的光电池。

Q “小卫星”在制作后一直没动静，而电容两端的电压存在如下循环：上升→下降→上升……这是为什么？

A 如果电容两端的电压有如上所述的变化过程，那可要恭喜你了，你的控制电路没有问题。之所以电路没问题而电机不转，最主要的原因是电机的效率低，它所需的驱动电流大，选用低电流的电动机就可解决问题。

Q 为了让“小卫星”能够“大爆发”，我给它换了3个6800μF的电容。在换之前小卫星可以动，但换之后却不动了，为什么？

A 首先，大电容需要更多的时间充电，如果光线不好，充电的时间就会很长。如果电容和电路有漏电，搞不好漏电消耗的电流比充电电流还多！在这种情况下，“小卫星”就自己把自己“耗死”了。同时，大电容的体积和重量都很大，小卫星的电机可能在无负载时转动，而一旦把“小卫星”放在桌上，让它的电机带动它的身体转动，电机可能就因电容的重量太大而无法启动。对此问题可以选用小体积、重量轻的大电容来解决。

Q 我的“卫星”在充电时，上面的闪光LED一直“眨眼”，但小卫星的电机却始终不工作，如何解决？

A 如果闪光LED工作，说明电阻R上有压降，但此压降没有达到PNP管的开启电压。经实测，闪光LED大约在1.7V就有微弱的闪烁。要使管子打开，2.2kΩ电阻上的压降一定要达到0.55V。这就要求流过2.2kΩ电阻的电流要达到0.25mA，而闪光LED在微弱闪烁时，消耗的电流可能还达不到0.25mA，以至于电阻上的压降不够。其实不一定都要使用2.2kΩ的电阻，你可以把它拆下来，换上10kΩ多圈电位器，通过调节电位器来重新设置电路。

Q 我想让“卫星”能“爆发”得更猛烈些，除了换大电容，还有什么方法？

A 可以选用工作电压高的闪光LED，在这种状态下电路的触发电压相应升高，电路触发后加在电机上的电压也会更大。

Q 为什么我的“小卫星”在弱光下可以工作，而在强光下却不工作了？

A 这种情况的原因既有前文所说的光电池输出电流过大，也有可能是你把闪光LED直接暴露在强光下了。因为闪光LED是由半导体材料制作的，半导体材料的工作特性受光照的影响，所以闪光LED可能因强光而不能正常工作。在闪光LED上套上一层遮光材料就行。

Q 可以用其他元件代替闪光LED吗？

A 可以用多个普通的LED经串联来代替闪光LED，接法与闪光LED相同。笔者也曾见过有人用稳压二极管代替闪光LED，应注意稳压二极管的接法与闪光LED的接法相反。实际上，经笔者的试验发现，稳压二极管的效果没有预期的好。

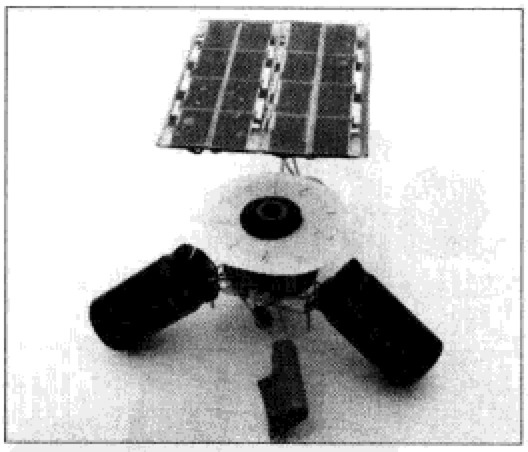
Q 小卫星不能进入循环，在“一鸣”后，电容两端的电压一直保持在低电平（大约1V），而不再升高，若此时把光电池遮住，然后再把光电池置于光中，此时电容两端电压升高。

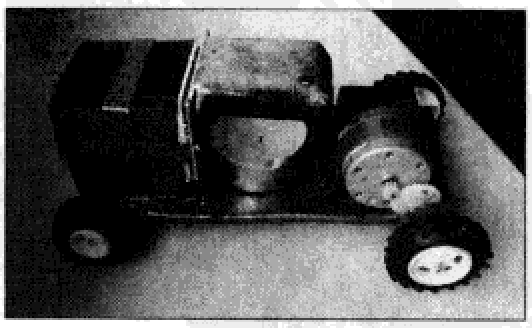
A 这是因为你的光电池输出电流过大，使晶体管持续导通，光电池电流全消耗在了晶体管上，而不是为电容充电。选用较小输出电流的光电池即可。

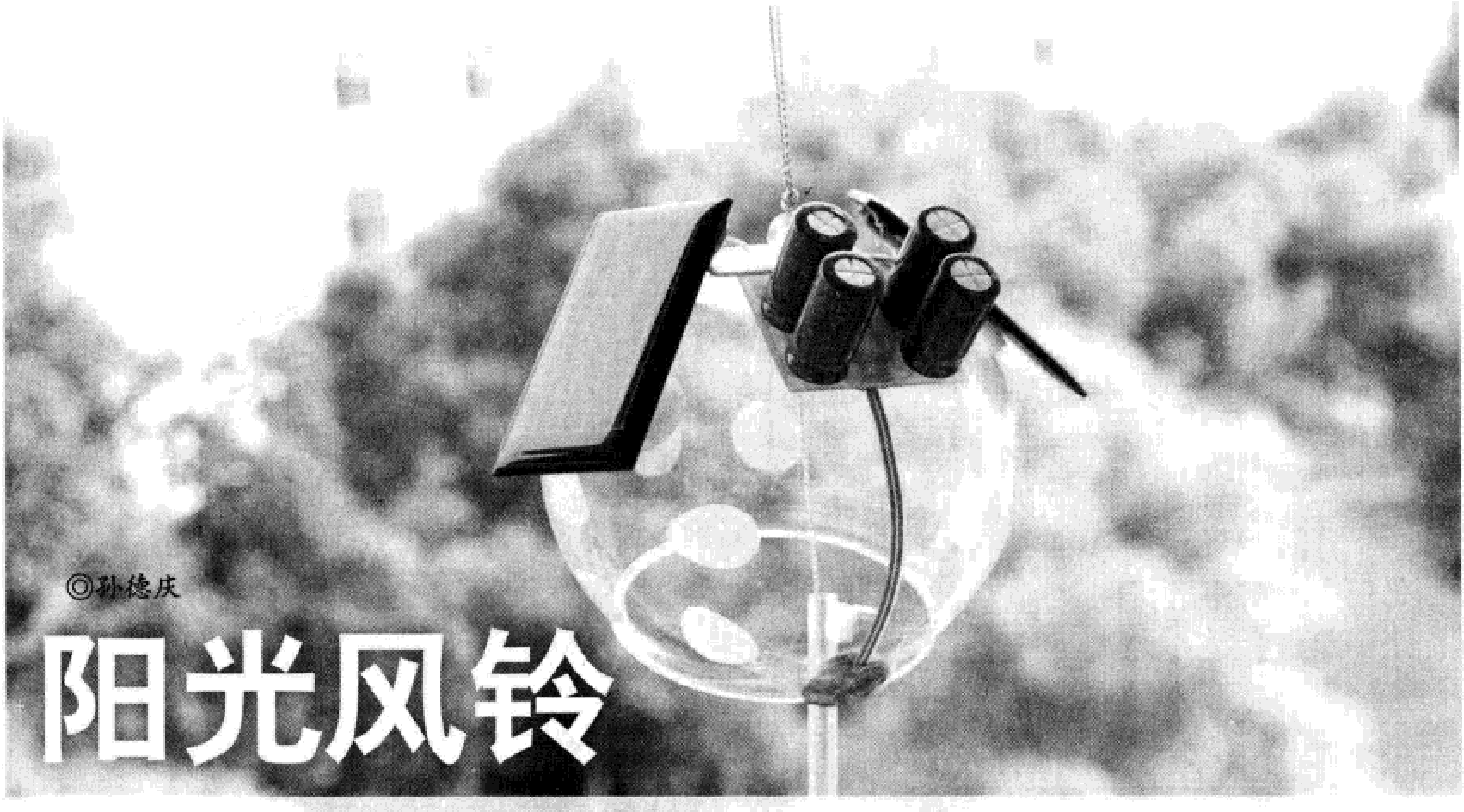
呵呵，由前文所述电路你可以做出各种各样的beam机器人！

最后，希望大家能对此电路有较深的了解，为创作自己的BEAM机器人提供参考。此电路可以衍生出许多其他的趣味制作，你可以用此电路制作一个太阳能摆（即用线圈代替电机），还可以制作太阳能小车。笔者曾见到有强人用制冷片温差发电，并用此电路收集温差发电的微弱电流，制作了以温差为能源的小车！

只要有想象力，你肯定能制作出充满趣味的作品。


笔者的另一作品：阳光轮盘（轮盘上有数字）


高手用制冷片温差发电，并用此电路收集温差发电的微弱电流，制作了以温差为能源的小车



◎孙德庆

阳光风铃

谁见到过风？你没有，我也没有。
但当风铃轻轻唱，便是风儿经过时。

——改自Christina Rossetti

风铃的清脆响声往往只属于微风的天气，但是无风的日子，它却会静默不语。不过，当和煦的阳光转化成了电流，“推动”风铃，风铃的轻舞便会打破沉寂，带来一丝清新的活力。

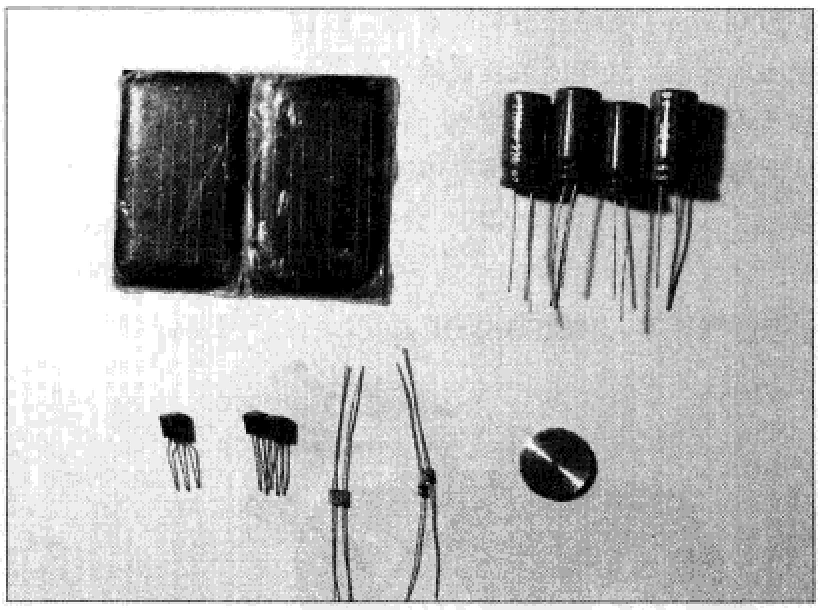
这是一个风铃与BEAM bot的组合。BEAM是Biology（生物）、Electronics（电子）、Aesthetics（美学）和Mechanics（机械）的缩写。顾名思义，这种机器建造法崇尚简洁，以模拟电路为主，成本低，容易上手。

这个风铃就采用BEAM bot中的倍压式太阳能引擎。当它吸满阳光，便会用风铃外面的线圈吸引风铃的玻璃柱撞击风铃外壳，发出响声。这种电路能真正做到免维护，也不需要为电池的更换和处理花费心思。只要有阳光，它就可以不停地工作下去。

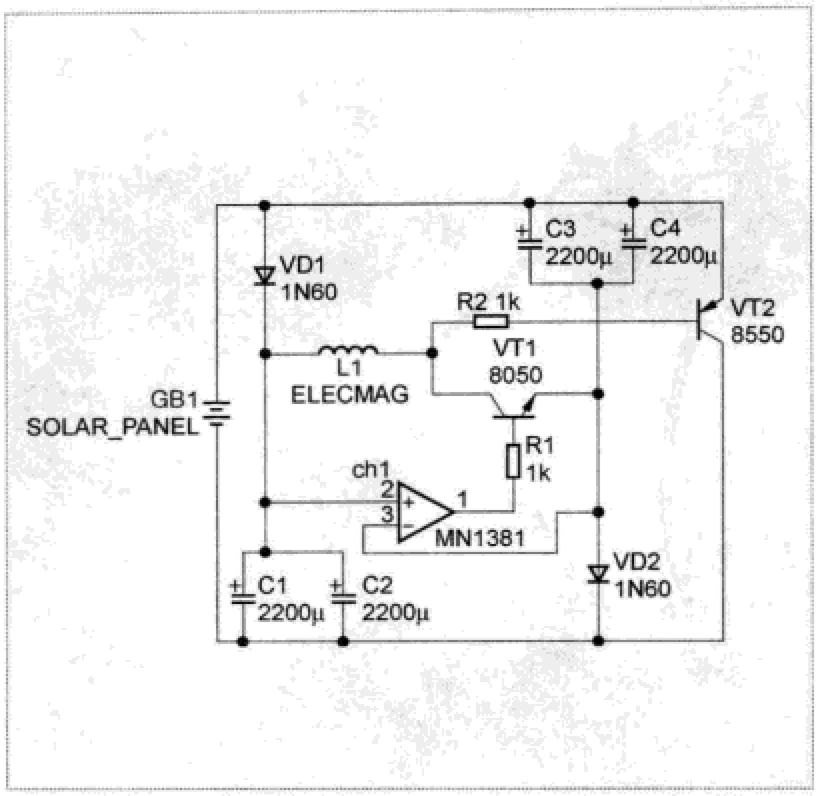
这个制作材料简单，且不涉及编程。风铃、少量元器件、烙铁、焊锡丝和万用表就是所有需要的材料和工具。材料募集完成后，经过十几分钟的制作，你就可以看到风铃在阳光的驱动下发出响声。

风铃宜选用日式江户风铃。这种风铃通体以玻璃制成，所以不会影响磁力线通过。同时外壳往往较大，可以比较容易在外壳上安装电路和太阳能电池板。而且江户风铃内部往往绘制有不同的图案，可以依照自己的喜好选取合适的款式。

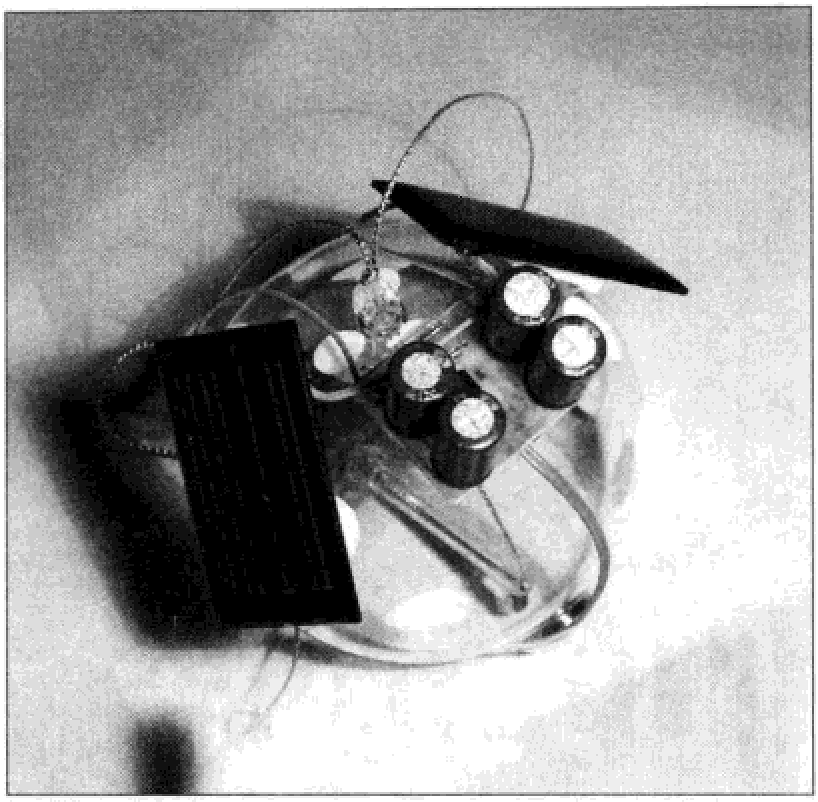
材料准备



太阳能电池板 (2V×2 或 4V×1)
电容 (4700μF×2 或 2200μF×4，耐压高于5V)
MN1381-L
PNP、NPN三极管各1只 (9012+9013或8050+8550)
低压降二极管1只 (MBR0520或1N60或1N5817)
电阻 2个(1kΩ，无需精确)
电磁线圈1个
洞洞板或自行制作PCB（未示出）
风铃1只（未示出）
钕铁硼磁铁1小块（未示出）



电路图



做好的实物

依照电路图，我们可以很容易地在洞洞板上搭建。不过，如果对电路还不太熟悉，也可以先在面包板上搭，看看它的工作过程。如果工作正常，再转移到洞洞板上。唯一要注意的就是，少数厂家的三极管可能与一般的三极管引脚排列不同，有条件的话，不妨先自行测量一下。

电路的核心是一个两倍压太阳能引擎(The Vx2SE solar engine)。这个电路在静息时通过二极管为电容充电，当电容电压足够高，使电压触发器输出高电平时，两组电容经过三极管VT1和VT2形成串联结构，以两倍的电压向电磁铁放电，从而形成更大的电流来推动电磁铁。之所以采用这种引擎，是因为太阳能电池的功率有限，不能直接推动电磁铁。同时，持续的吸合也没有意义。这种电路将太阳能集中在一小段时间内释放，从而可以提供足够的动力来敲响风铃。

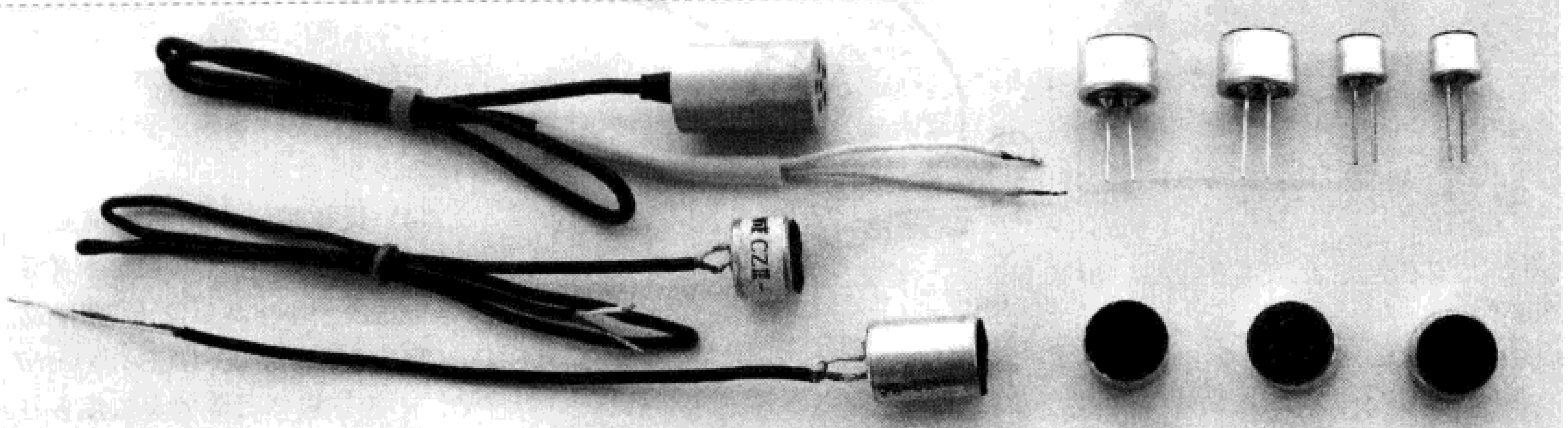
电路组装完成后，将它贴在风铃外壁上，小心调节电路的位置，使整个风铃有一定的倾斜，使得玻璃柱可以靠近电磁铁。然后，在玻璃柱最靠近电磁铁的位置上贴上一小块钕铁硼磁铁。这样，磁铁会在磁场的吸引下撞击外壳，发出响声，而当太阳能引擎电力耗尽时，磁场消失，磁铁摆回原来的位置，等待下一次吸引。

由于磁场的强度在距离增加时呈立方关系衰减，所以缩短距离意义重大。过远的距离会使磁铁纹丝不动。而同时，距离也不能过近，否则较短的加速距离会使发出的响声较小。

至此，即使无风，在阳光照耀下，电磁铁也会周期性地吸引磁铁撞击外壳，发出响声，让风铃在无风时也能继续演奏。

常用元器件的识别与使用（十八）

◎张晓东



小巧灵敏的驻极体话筒

驻极体话筒也称驻极体传声器，它是利用驻极体材料制成的一种特殊电容式“声—电”转换器件。其主要特点是体积小、结构简单、频响宽、灵敏度高、耐震动、价格便宜。

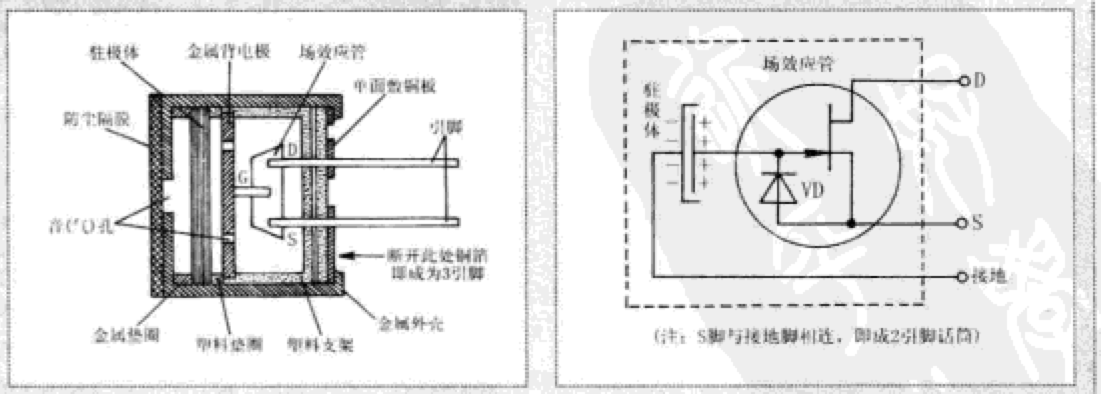
驻极体话筒是目前最常用的传声器之一，在各种传声、声控和通信设备（如无线话筒、盒式录音机、声控电灯开关、电话机、手机、多媒体电脑等）中应用非常普遍。电子爱好者在制作或维修各种具有“声—电”转换功能的电路时，不可避免地要跟驻极体话筒打交道，掌握驻极体话筒的识别与正确使用方法是很有必要的。

如何识别驻极体话筒

1. 结构及特点

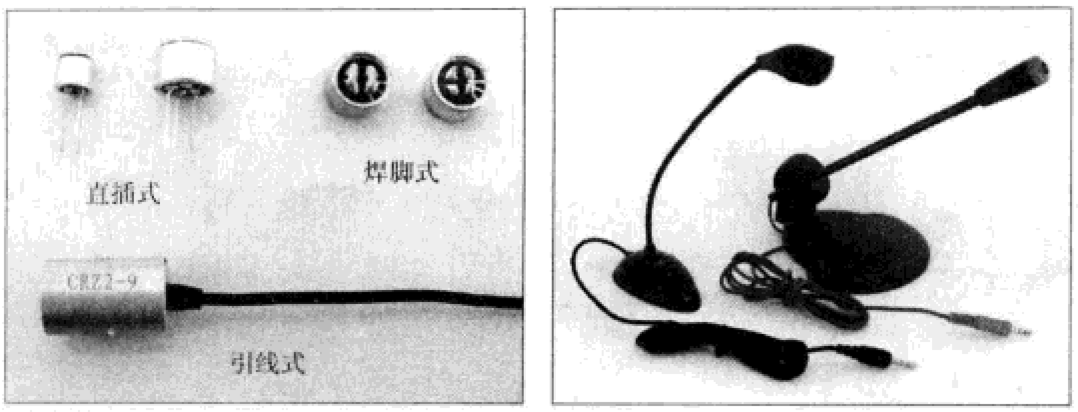
驻极体话筒的内部结构如图1（a）所示，它主要由“声—电”转换和阻抗变换两部分组成。“声—电”转换的关键元件是驻极体振动膜片，它以一片极薄的塑料膜片作为基片，在其中一面蒸发上一层纯金属薄膜，然后再经过高压电场“驻极”处理后，在两面形成可长期保持的异性电荷——这就是“驻极体”（也称“永久电荷体”）一词的来历。振动膜片的金属薄膜面向外（正对音孔），并与话筒金属外壳相连；另一面靠近带有气孔的金属极板，其间用很薄的塑料绝缘垫圈隔离开。这样，振动膜片与金属极板之间就形成了一个本身具有静电场的电容——可见驻极体话筒实际上是一种特殊的、无需外接极化电压的电容式话筒。金属极板与专用场效应管的栅极G相接，场效应管的源极S和漏极D作为话筒的引出电极。这样，加上金属外壳，驻极体话筒一共有3个引出电极，其内部电路如图1（b）所示。如果将场效应管的源极S（或漏极D）与金属外壳接通，就使得话筒只剩下了2个引出电极。

驻极体话筒的工作原理是这样的：当驻极体膜片遇到声波振动时，就会引起与金属极板间距离的变化，也就是驻极体振动膜片与金属极板之间的电容随着声波变化，进而引起电容两端固有的电场发生变化（$U=Q/C$），从而产生随声波变化而变化的交变电压。由于驻极体膜片与金属极板之间所形成的“电容”容量比较小（一般为几十波法），因而它的输出阻抗值（$X_C=1/2\pi fC$）很高，约在几十兆欧以上。这样高的阻抗是不能直接与一般音频放大器的输入端相匹配的，所以在话筒内接入了一只结型场效应晶体三极管来进行阻抗变换。通过输入阻抗非常高的场效应管将“电



（a）内部结构　（b）内部电路

图1 驻极体话筒构成图



（a）机装型　　（b）外置型

图2 驻极体话筒实物外形图

容”两端的电压取出来，并同时进行放大，就得到了和声波相对应的输出电压信号。

驻极体话筒内部的场效应管为低噪声专用管，它的栅极G和源极S之间复合有二极管VD，参见图1（b）所示，主要起“抗阻塞”作用。由于场效应管必须工作在合适的外加直流电压下，所以驻极体话筒属于有源器件，即在使用时必须给驻极体话筒加上合适的直流偏置电压，才能保证它正常工作，这是有别于一般普通动圈式、压电陶瓷式话筒之处。

2. 外形和种类

常用驻极体话筒的外形分机装型（即内置式）和外置型两种。机装型驻极体话筒适合于在各种电子设备内部安装使用，其外形如图2（a）所示。常见的机装型驻极体话筒形状多为圆柱形，其直径有φ6mm、φ9.7mm、φ10mm、φ10.5mm、φ11.5mm、φ12mm、φ13mm……多种规格，引脚电极数分两端式和三端式两种，引脚形式有可直接在电路板上插焊的直插式、带软屏蔽电线的引线式和不带引线的焊脚式3种。如按体积大小分类，有普通型和微型两种，微型驻极体话筒已被广泛应用于各种微型录音机、微型数码摄像机、手机等电子产品中。

除了机装型驻极体话筒外，将机装型驻极体话筒装入各式各样的带有座架或夹子的外壳里，并接上带有2芯或3芯插头的屏蔽电线（有的还接了开关），就做成了我们经常见到的形形色色、可方便移动的外置型驻极体话筒，其外形如图2（b）所示。

3. 主要参数

表征驻极体话筒各项性能指标的参数主要有以下几项：

（1）**工作电压**（U_{DS}）。这是指驻极体话筒正常工作时，所必须施加在话筒两端的最小直流工作电压。该参数视型号不同而有所不同，即使是同一种型号也有较大的离散性，通常厂家给出的典型值有1.5V、3V和4.5V这3种。

（2）**工作电流**（I_{DS}）。这是指驻极体话筒静态时所通过的直流电流，它实际上就是内部场效应管的静态电流。与工作电压类似，工作电流的离散性也较大，通常在0.1～1mA。

（3）**最大工作电压**（U_{MDS}）。这是指驻极体话筒内部场效应管漏、源极两端所能够承受的最大直流电压。超过该极限电压时，场效应管就会被击穿损坏。

（4）**灵敏度**。这是指话筒在一定的外部声压作用下所能产生音频信号电压的大小，其单位通常用mV/Pa（毫伏/帕）或dB（0dB=1000mV/Pa）。一般驻极体话筒的灵敏度多在0.5～10mV/Pa或-66～-40dB范围内。话筒灵敏度越高，在相同大小的声音下所输出的音频信号幅度也越大。

（5）**频率响应**。也称频率特性，是指话筒的灵敏度随声音频率变化而变化的特性，常用曲线来表示。一般说来，当声音频率超出厂家给出的上、下限频率时，话筒的灵敏度会明显下降。驻极体话筒的频率响应一般较为平坦，其普通产品频率响应较好（即灵敏度比较均衡）的范围在100Hz～10kHz，质量较好的话筒为40Hz～15kHz，优质话筒可达20Hz～20kHz。

（6）**输出阻抗**。这是指话筒在一定的频率（1kHz）下输出端所具有的交流阻抗。驻极体话筒经过内部场效应管的阻抗变换，其输出阻抗一般小于3kΩ。

（7）**固有噪声**。这是指在没有外界声音时话筒所输出的噪声信号电压。

附表：部分常用驻极体话筒的性能参数

型号	工作电压范围(V)	输出阻抗(Ω)	频率响应(Hz)	固有噪声(μV)	灵敏度(dB)	尺寸(mm)	方向性
CRZ2-9	3～12	≤2000	50～10000	≤3	-54～-66	φ11.5mm×19mm	全向
CRZ2-15	3～12	≤3000	50～10000	≤5	-36～-46	φ10.5mm×7.8mm	
CRZ2-15E	1.5～12	≤2000					
ZCH-12	4.5～10	1000	20～10000	≤3	-70	φ13mm×23.5mm	
CZⅡ-60	4.5～10	1500～2200	40～12000	≤3	-40～-60	φ9.7mm×6.7mm	
DGO9767CD	4.5～10	≤2200	20～16000		-48～-66	φ9.7mm×6.7mm	
DGO6050CD	4.5～10	≤2200	20～16000		-42～-58	φ6mm×5mm	
WM-60A	2～10	2200	20～20000		-42～-46	φ6mm×5mm	
XCM6050	1～10	680～3000	50～16000		-38～-44	φ6mm×5mm	
CM-18W	1.5～10	1000	20～18000		-52～-66	φ9.7mm×6.5mm	
CM-27B	2～10	2200	20～18000		-58～-64	φ6mm×2.7mm	

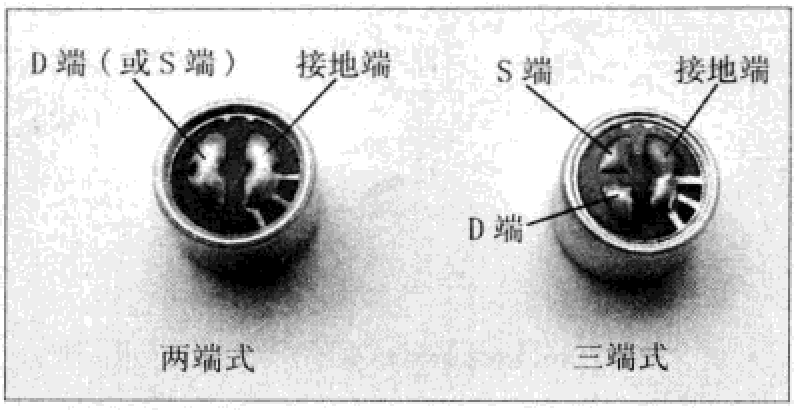


图3 驻极体话筒的引脚识别

话筒的固有噪声越大，工作时输出信号中混有的噪声就越大。一般驻极体话筒的固有噪声都很小，为微伏级电压。

(8) **指向性**。也叫方向性，是指话筒灵敏度随声波入射方向变化而变化的特性。话筒的指向性分单向性、双向性和全向性3种。单向性话筒的正面对声波的灵敏度明显高于其他方向，并且根据指向特性曲线形状，可细分为心形、超心形和超指向形3种；双向性话筒在前、后方向的灵敏度均高于其他方向；全向性话筒对来自四面八方的声波都有基本相同的灵敏度。常用的机装型驻极体话筒绝大多数是全向性话筒。

4. 型号与引脚识别

由于驻极体话筒的型号命名各厂家不统一，可谓各行其事，无规律可循。要想知道某一型号产品的性能和有关参数等，一般只能查看厂家说明书或相关的参数手册。业余条件下，对于不同型号的驻极体话筒，只要体积和引脚数相同、灵敏度等参数相近，一般均可以直接代换使用。附表列出了部分常用驻极体话筒的主要参数，供参考。

驻极体话筒的引脚识别方法很简单，无论是直插式、引线式或焊脚式，其底面一般均是印制电路板，如图3所示。对于印制电路板上面有2部分敷铜的驻极体话筒，与金属外壳相通的敷铜应为“接地端”，另一敷铜则为“电源/信号输出端”（有“漏极D输出”和“源极S输出”之分）。对于印制电路板上面有3部分敷铜的驻极体话筒，除了与金属外壳相通的敷铜仍然为“接地端”外，其余2部分敷铜分别为“S端”和“D端”。有时引线式话筒的印制电路板被封装在外壳内部，无法看到（如国产CRZ2-9B型），这时可通过引线来识别：屏蔽线为“接地端”，屏蔽线中间的2根芯线分别为“D端”（红色线）和“S端”（蓝色线）。如果只有1根芯线（如国产CRZ2-9型），则该引线肯定为“电源/信号输出端”。

如何使用驻极体话筒

◎张爱迪

本文以MF50型指针式万用表为例，介绍在业余条件下使用万用表快速判断驻极体话筒的极性、检测驻极体话筒的好坏及性能的具体方法。

判断极性

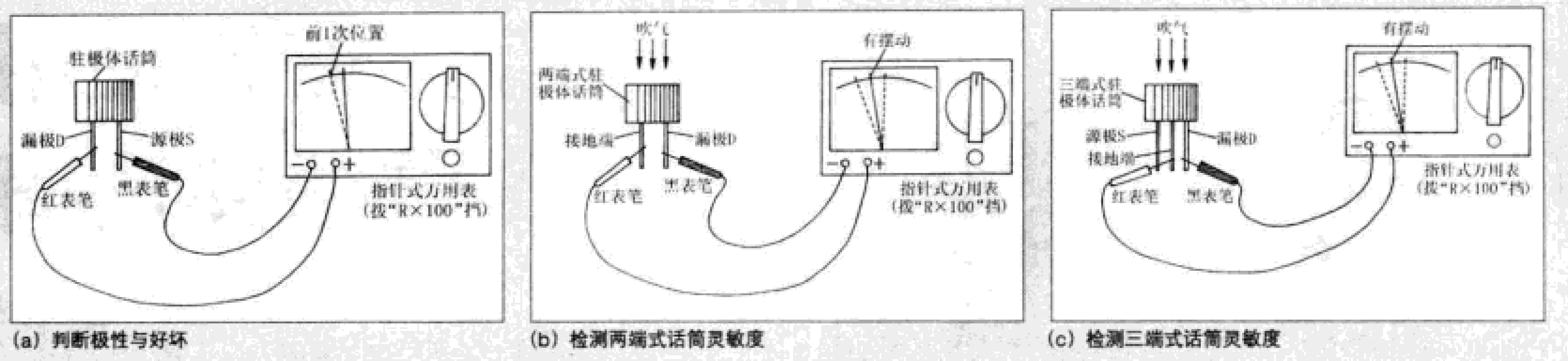
由于驻极体话筒内部场效应管的漏极D和源极S直接作为话筒的引出电极，所以只要判断出漏极D和源极S，也就不难确定出驻极体话筒的电极。如图1（a）所示，将万用表拨至“R×100”或“R×1k”电阻挡，黑表笔接任意一极，红表笔接另外一极，读出电阻值数，对调两表笔后，再次读出电阻值数，并比较两次测量结果，阻值较小的一次中，黑表笔所接应为源极S，红表笔所接应为漏极D。进一步判断：如果驻极体话筒的金属外壳与所检测出的源极S电极相连，则被测话筒应为两端式驻极体话筒，其漏极D电极应为“正电源/信号输出脚”，源极S电极为“接地引脚”；如果话筒的金属外壳与漏极D相连，则源极S电极应为“负电源/信号输出脚”，漏极D电极为“接地引脚”。如果被测话筒的金属外壳与源极S、漏极D电极均不相通，则为三端式驻极体话筒，其漏极D和源极S电极可分别作为“正电源引脚”和“信号输出脚”（或“信号输出脚”和“负电源引脚”），金属外壳则为“接地引脚”。

检测好坏

在上面的测量中，驻极体话筒正常测得的电阻值应该是一大一小。如果正、反向电阻值均为∞，则说明被测话筒内部的场效应管已经开路；如果正、反向电阻值均接近或等于0Ω，则说明被测话筒内部的场效应管已被击穿或发生了短路；如果正、反向电阻值相等，则说明被测话筒内部场效应管栅极G与源极S之间的晶体二极管已经开路。由于驻极体话筒是一次性压封而成，所以内部发生故障时一般不能维修，弃旧换新即可。

检测灵敏度

将万用表拨至“R×100”或“R×1k”电阻挡，按照



(a) 判断极性与好坏　(b) 检测两端式话筒灵敏度　(c) 检测三端式话筒灵敏度

图1 驻极体话筒的检测

图1（b）所示，黑表笔（万用表内部接电池正极）接被测两端式驻极体话筒的漏极D，红表笔接接地端（或红表笔接源极S，黑表笔接接地端），此时万用表指针指示在某一刻度上，再用嘴对着话筒正面的入声孔吹一口气，万用表指针应有较大摆动。指针摆动范围越大，说明被测话筒的灵敏度越高。如果没有反应或反应不明显，则说明被测话筒已经损坏或性能下降。对于三端式驻极体话筒，按照图1（c）所示，黑表笔仍接被测话筒的漏极D，红表笔同时接通源极S和接地端（金属外壳），然后按相同方法吹气检测即可。

以上检测方法是针对机装型驻极体话筒而言，对于带有引线插头的外置型驻极体话筒，可按照图2所示直接在插头上进行测量。但要注意，有的话筒上装有开关，测试时要将此开关拨至“ON”（接通）位置，而不能将开关拨至“OFF”（断开）的位置。否则，将无法进行正常测试。

使用常识

1. 驻极体话筒虽然品种多、型号不一，但其主要特性一般相差都不太大，差别常在于灵敏度高低的不同。尤其是常用机装型驻极体话筒的外形尺寸绝大多数也很接近，故其通用互换性较好。在电子制作或维修时，如果找不到所需的型号，可用相似尺寸和特性的任何驻极体话筒来代换。但要注意的是，有些型号的驻极体话筒采用色点标记对其灵敏度进行分挡，例如英伦牌CM-18W型驻极体话筒的灵敏度划分成5个挡，每挡差别约4dB，依次是：红色为-66dB，小黄为-62dB，大黄为-58dB，蓝色为-54dB，白色＞-52dB。代换时，即使型号相同还不够，必须要求两者色点相同或灵敏度接近才行。如果是非色标产品，最好查产品手册或说明书，弄清具体特性和主要参数后，再确定能否代换。

2. 驻极体话筒的灵敏度选择是使用中一个比较关键的问题，究竟选择灵敏度高好还是低好，应根据实际情况而定。在要求动态范围较大的场合应选用灵敏度低一些的产品，这样录制节目背景噪声较小、信噪比较高，声音听起来比较干净、清晰，但对电路的增益相对就要求高一些，在简易系统中可选用灵敏度高一点的产品，以减轻对后级放大电路增益的要求。另外要注意的是，普通驻极体话筒的离散性较大，即使是同一型号和色点的话筒有时灵敏度也存在较大差异。

3. 驻极体话筒和电子设备连接时，要特别注意两者阻抗的匹配。无论使用何种话筒，都必须始终牢记这样的原则：高阻抗的话筒不可以直接接至低输入阻抗的电子设备，但低阻抗话筒接至高输入阻抗的电子设备是允许的。另外，高阻抗的话筒引线不宜过长，否则容易引起各种杂声并增

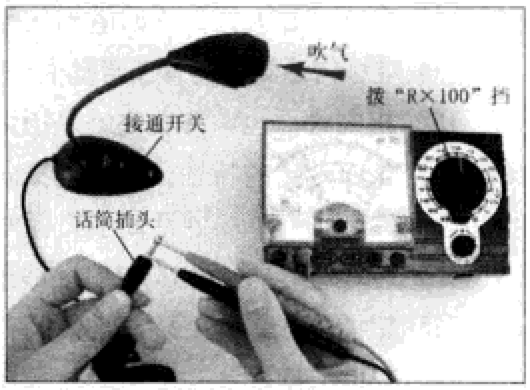
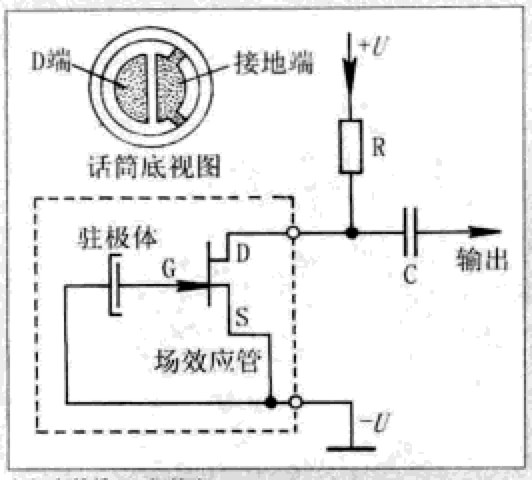


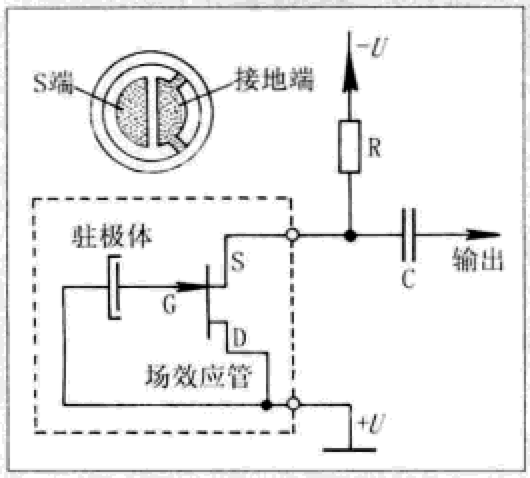
图2 通过插头检测驻极体话筒

加频率失真。在需要使用较长的话筒接线时，应尽可能地选用阻抗低一些的话筒。无论话筒的引出线或长或短，都应采用屏蔽线，以免外界杂波信号感应给引出线，对后级放大电路造成干扰。

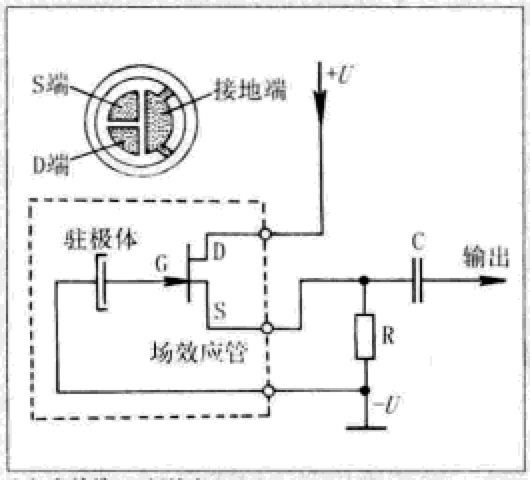
4. 驻极体话筒在接入电路时，共有4种不同的接线方式，其具体电路如图3所示。图中的R既是话筒内部场效应管的外接负载电阻，也是话筒的直流偏置电阻，它对话筒的工作状态和性能有较大影响。C为话筒输出信号耦合电容器。图3（a）和图3（b）所示为两端式话筒的接线方法，图3（c）和图3（d）为三端式驻极体话筒的接线方法。目前市售的驻极体话筒大多是两端式，几乎全部采用图3（a）所示的连接方法。这种接法是将场效应管接成漏极D输出电路，类似于晶体三极管的共发射极放大电路，其特点是输出信号具有一定的电压增益，使得话筒的灵敏度比较高，但动态范围相对要小些。三端式话筒目前市场上比



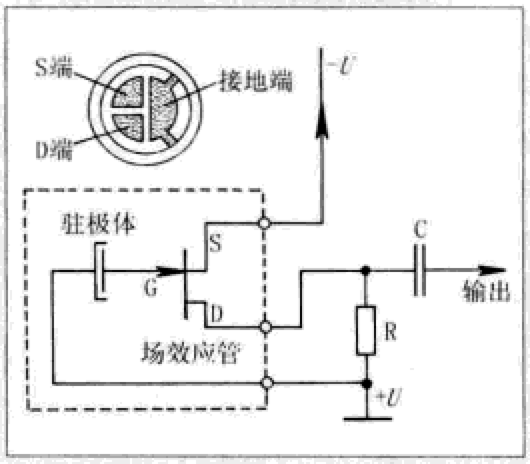
(a) 负接地，D极输出



(b) 正接地，S极输出



(c) 负接地，S极输出



(d) 正接地，D极输出

图3 驻极体话筒的4种接法

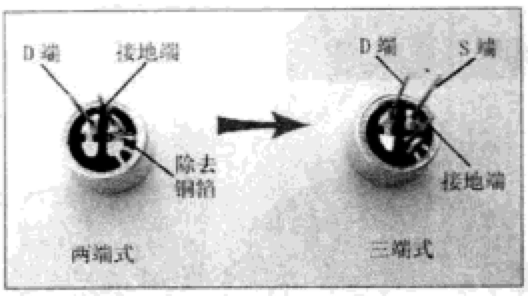


图4 获得三端式话筒

较少见，使用时多接成图3（c）所示的源极S输出方式，这类似于晶体三极管的射极输出电路，其特点是输出阻抗小（一般≤2kΩ），电路比较稳定，动态范围大，但输出信号相对要小些。当然，也可将三端式话筒接成图3（a）或图3（b）所示的电路，直接作为两端式话筒来使用。但要注意，无论采用何种接法，驻极体话筒必须满足一定的直流偏置条件才能正常工作，这实际上就是为了保证内置场效应管始终处于良好的放大状态。

5. 驻极体话筒内置场效应管的工作状态如何，不仅决定了话筒能否正常工作，而且直接影响话筒的灵敏度、动态范围和失真度。由于场效应管的直流工作电压 U_{DS}、工作电流 I_{DS} 均通过外接负载电阻 R 从后级放大器的供电电路获得，所以电阻 R 的取值对话筒的实际使用效果至关重要。R 的大小可由公式：$R=(U-U_{DS})/I_{DS}$ 确定，式中 U 为电源电压。R 不仅是场效应管的负载电阻，在电路中它还与后续放大电路的输入电阻并联后共同构成话筒的负载电阻 R_L。应保证 R_L 的阻值始终大于话筒输出阻抗的 3～5 倍，这样才能使话筒处于良好的匹配状态。R 阻值过小常常会引起放大电路输入阻抗的降低，从而破坏前后级之间的阻抗匹配，使放大器的效率降低。由于话筒的输出阻抗在 2kΩ 左右，因此 R_L 至少要在 10kΩ 以上才能满足要求。

6. 一般驻极体话筒均由厂家给出工作电压范围或典型工作电压值（多为1.5V、3V、4.5V这3种）以及最高工作电压（≥12V）。使用时不要超过电压上限，否则会击穿内部场效应管。除了微型电子设备的驻极体话筒常使用1.5V电源外，绝大多数驻极体话筒的工作电压均在3～10V范围内。工作电压取得高一些，有利于扩大话筒的动态范围，避免在高声压级的场合产生严重的失真，工作电压过小时，不仅会影响话筒的动态范围，而且还会降低话筒的工作电流，影响到电路的信噪比。如果条件允许，最好让话筒工作在厂家推荐的电压下，以获得最佳性能。

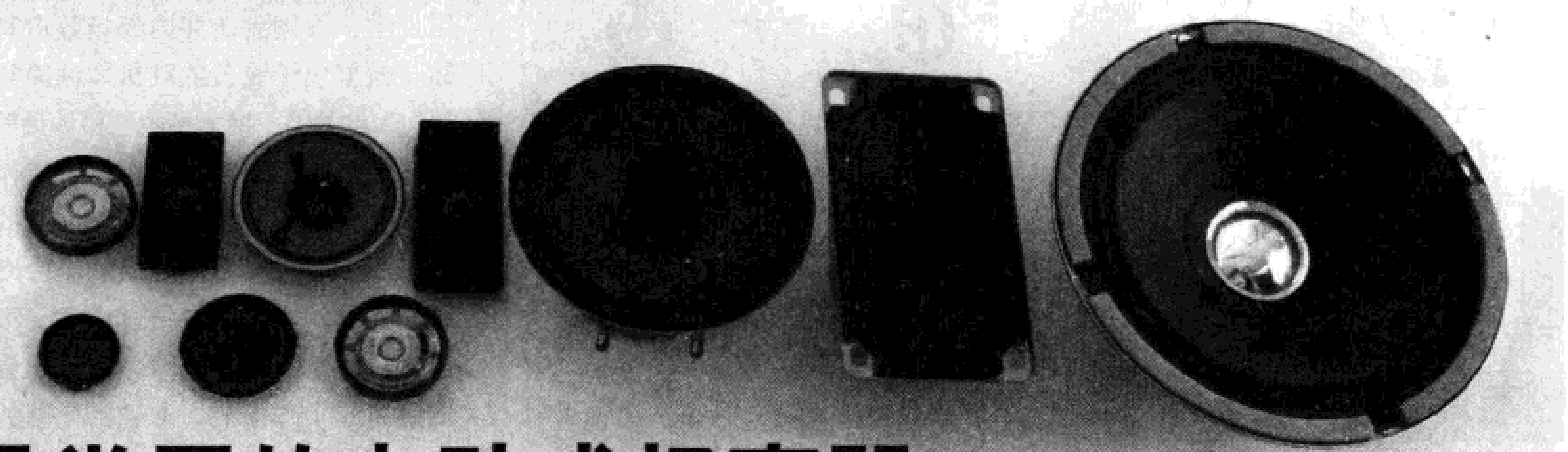
7. 在电子制作或维修时，如果发现所用的三端式驻极体话筒已经损坏，而手头一时没有合适的替换品，可不妨用一个大小相同、灵敏度等主要参数相近的普通两端式驻极体话筒加工改造后代替，具体方法：按照图4所示，用刻刀划断两端式驻极体话筒背面与金属外壳相连的焊脚敷铜箔，给金属外壳焊接上独立的引线，则原有的两个焊脚加上金属外壳（接地端），就构成了一个三端式驻极体话筒。

8. 驻极体话筒在安装和使用时，必须尽可能地远离放音扬声器，更不要对准扬声器方向，以免引起啸叫。几个驻极体话筒同时使用时，不能将它们直接并联，而应该将各个话筒分别接到相应的前置放大电路，放大后再根据需要进行“合并”。

9. 使用驻极体话筒时，嘴和话筒应保持一定的距离，过近容易引起声音信号的阻塞和失真，过远则会使声音信号变小，噪声相对增大。另外，话筒正面的受音孔要指向声源，以获得较好的频率响应和灵敏度。不论使用还是存放话筒，均应保持干燥，防止受潮。对于外置型驻极体话筒，引出线要顺一个方向收放，切莫凌乱打扭，否则容易造成引出线断路或短路。

常用元器件的识别与使用（十九）

◎张晓东



最常用的电动式扬声器

扬声器俗称喇叭，是一种将电信号转换成声音的电声器件。我们常用的手机、电话、多媒体电脑、电视机、扩音机、收音机、电子门铃等，都是最后通过扬声器把音频电信号变成声音来实现“讲话”或“唱歌”功能的。可见，扬声器是一切电声设备的“喉舌”。上一期我们已讲过，话筒的作用是把声音转换成相应的电信号，以便用电子放大器来放大。而扬声器的作用恰好相反，它是把电子放大器放大了的电信号转换成声音。话筒和扬声器均属于电声器件。

扬声器种类较多，按其换能机理和结构不同划分，有电动（动圈）式、电磁（舌簧）式、压电（晶体或陶瓷）式、静电（电容）式、电离子式和气动式扬声器等。电动式扬声器也叫动圈式扬声器、电动式喇叭，它具有电声性能好、结构牢固、成本低等优点，是目前应用最多、最广泛的一种扬声器，电子爱好者经常使用的各种型号的扬声器，几乎全都是电动式扬声器。下面就向大家介绍普通电动式扬声器的识别。

电动式扬声器的分类

电动式扬声器按所用磁性材料形状和磁路结构的不同，分外磁式和内磁式两种。外磁式扬声器的磁性材料采用圆环形磁铁，外部由软铁板压制而成。软铁芯柱和外面的软铁板构成稳定的磁场回路，由于磁铁是圆环形的，它本身就构成了外磁路，故称外磁式扬声器。圆环形磁铁大多采用钡（锶）铁氧体制成，其体积大，重量也较重，因磁体是外露的，杂散磁场大，对外界有一定影响，但它的生产成本低，价格也便宜，使用比较广泛。这种外磁式扬声器只适用于一般不考虑磁路杂散磁场对周围元器件等构成影响的场合，如普通收音机、外接音箱等装置中。

内磁式扬声器采用圆柱形磁钢（铁），其位置处于软铁壳构成的外磁路内部，故称内磁式扬声器。由于磁性材料被软铁壳封闭了起来，对外无杂散磁场形成，所以不会对周围电路产生影响。这种扬声器的磁性材料大多采用铝、镍、钴的合金制成（少数也有采用铁氧体的），其体积小、重量轻，对外界无磁场干扰，但生产成本较高，价格稍贵。内磁式扬声器适用于无杂散磁场要求的场合，如计算机、彩色电视机、检测仪器等。

常用电动式扬声器的外形及分类如图1所示。

另外，如果按照工作频率范围的不同区分，有高音（2～20kHz）、中音（500Hz～5kHz）、低音（20Hz～3kHz）和全频带（20Hz～20kHz）扬声器，按照磁场供给方式不同区分，有永磁式和励磁式扬声器，按照音圈阻抗不同区分，有低阻抗和高阻抗扬声器，按照纸盆结构和材料不同区分，有普通单纸盆（包括敷胶纸盆、纸基羊毛盆、紧压制盆等）、双纸盆、防弹布盆、羊毛编织盆、PP(聚丙烯)盆、尼龙边盆、橡皮边盆、硬球顶扬声器等。

重要参数

电动式扬声器主要有以下8项重要参数，需在选用时予以关注：

1. 外形尺寸。圆形扬声器的标称尺寸通常用产品盆架的最大直径来表示，椭圆形扬声器的标称尺寸则用椭圆盆架的长、短轴来表示。尺寸单位用mm（毫米）或cm（厘米）表示，习惯上还经常用英寸（in）表示，1英寸等于25.4mm。例如，我们平时所说的2.5英寸扬声器，它的盆架外径标称为65mm，4英寸×6英寸扬声器的盆架尺寸标称为100mm×160mm。

2. 额定功率。这是指扬声器在规定的无明显发声失真的条件下，长时

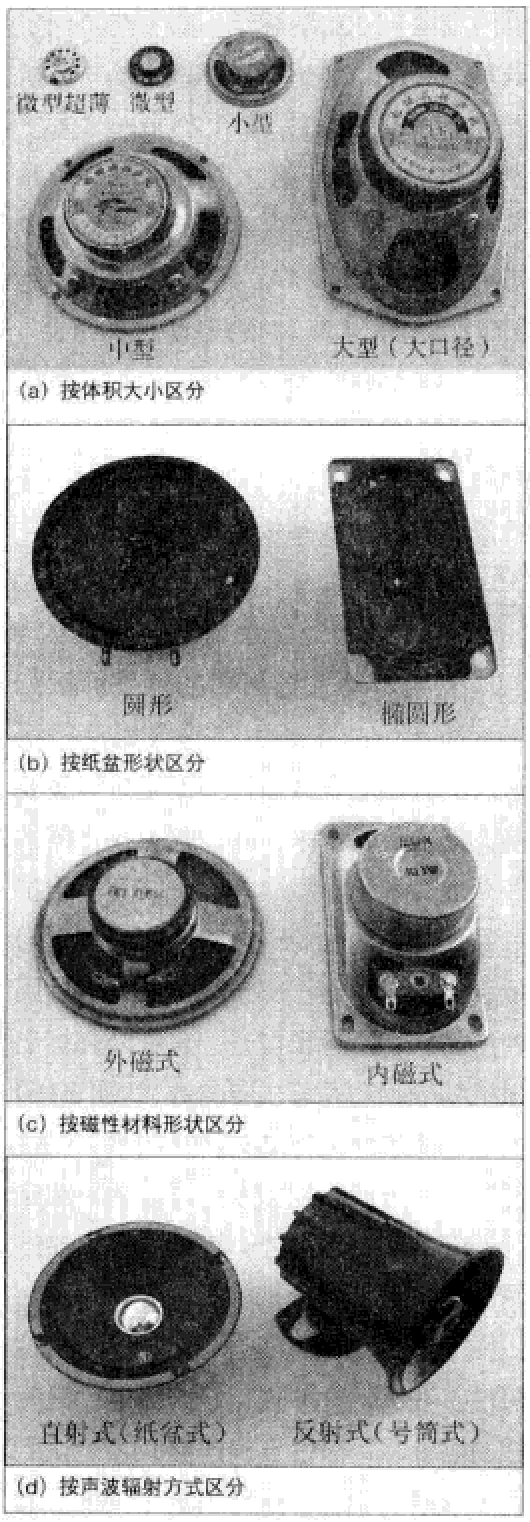


图1 电动式扬声器的分类

间连续工作时所允许输入的最大电功率（注意不是指扬声器所能够产生的声功率），其单位为“W（瓦）”或“VA（伏安）”。常用扬声器的额定功率有0.1W、0.25W、0.5W、1W、3W、5W、10W……扬声器实际能承受的最大功率要大于额定功率1～3倍，为了获得较好的音质，应让扬声器的实际输入功率小于额定功率。当扬声器长时间、大幅度超过其额定功率工作时，有可能使音圈发热变形，甚至振裂纸盆和烧毁音圈。

3. 标称阻抗。这是指扬声器工作时输入的信号电压与流过的信号电流之比值，单位为“Ω”。标称阻抗实际上是指让扬声器发声时的交流阻抗，它随测试频率的不同而不同，在数值上约为音圈直流电阻值的1.2～1.3倍。常用扬声器的标称阻抗有4Ω、8Ω、16Ω等，在应用时阻抗值只有与功放电路的输出阻抗相等，才能使扬声器发挥出最佳效能。

4. 频率范围。又叫频率响应，这是指输出声压变化幅度在一定的允许范围内（一般为 -3dB）时，扬声器的有效工作频率范围，它反映了扬声器转换一定范围内频率电信号的能力。扬声器的频率范围与其结构和纸盆材料等有关，在一般应用场合应选用全频或中音扬声器，在高保真放音系统则应按照要求选用组合的高、中、低音扬声器。

5. 谐振频率。也称共振频率（简称f_0），这是指扬声器有效频率范围的下限值。谐振频率越低，扬声器的低音越好。重低音扬声器的谐振频率多为20～30Hz。

6. 灵敏度。也称特性灵敏度，这是反映扬声器“电—声”转换效率的参数，是指给扬声器输入1kHz、1W（或0.1W）的音频信号时，在其正前方1m处所测得的平均声压大小，单位为“dB”。灵敏度越高，说明扬声器的“电—声”转换效率越高，发声也越响亮。

7. 失真度。这主要是指谐波失真，一般扬声器失真度小于7%，高保真扬声器失真度小于1%。

8. 指向性。这是指在扬声器前方不同方向上所测量出的灵敏度的差别，是反映扬声器声音辐射方向的参数。扬声器的指向性越强，就意味着发出的声音越集中。频率越高指向性越弱，纸盆越大指向性越强。在纸盆口径确定后，指向性由纸盆的形状决定，纸盆越深，指向性越好。在不同的使用场合，对扬声器指向性的要求是不同的。

型号命名

常见国产电动式扬声器的型号命名格式和含义如图2（a）所示。其字母“Y”表示扬声器，后面的第1个空格位置是单或双字母，表示扬声器的类型，其中“D”表示电动圆形，“DT”表示电动椭圆形，“DG”表示电动高音；第2个空格位置用字母或数字表示扬声器的额定功率或口径等特征参数，最后面的空格位置用数字表示产品序号。例如：型号YD3-25，表示这是额定功率为3W（3VA）、序号为25的电动式扬声器；型号YDG50-1，表示这是口径为50mm、序号为1的电动式高音扬声器。

新型国产电动式扬声器的命名与上面稍有不同，其命名格式和含义如图2（b）所示。字母“YD”表示电动式扬声器，后面的第1个空格位置是字母或数字，表示扬声器的重放频带或口径，其中“D”表示低音，“Z”表示中音，“G”表示高音，“QZ”表示球顶中音，“QG”表示球顶高音，“HG”表示

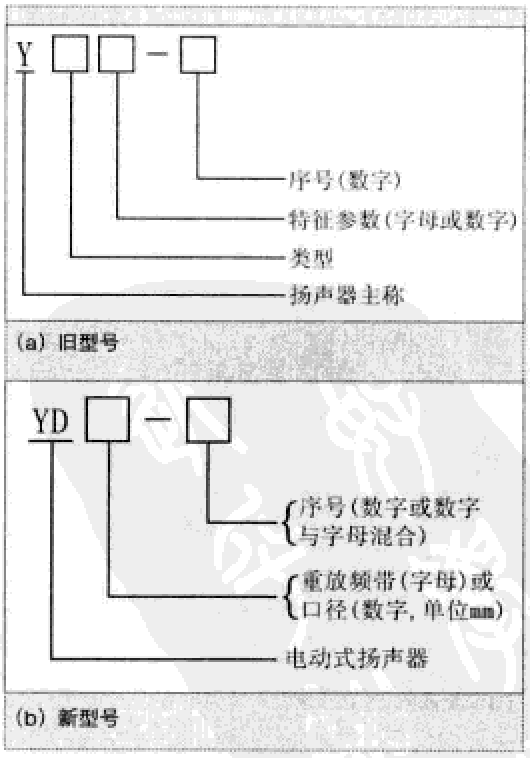


图2 国产电动式扬声器的命名规则

附表　部分国产普通纸盆扬声器的性能参数

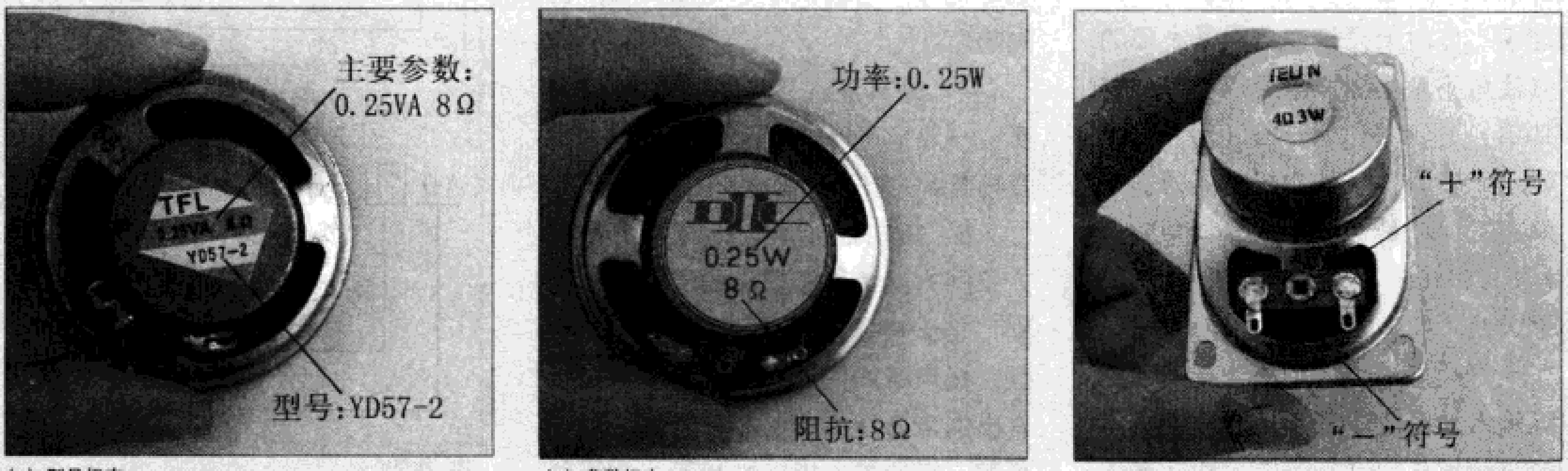
类别	型号	标称口径(mm)	音圈阻抗(Ω)	额定功率(W或VA)	频率范围(Hz)	谐振频率(Hz)	结构形式
圆形扬声器	YD005-401	40(1.5英寸)	8(100Hz)	0.05	550～3500	550+110	内磁式
	YD005-402		40(100Hz)				
	YD01-501	50(2英寸)	8(100Hz)	0.1	450～3500	450+90	
	YD01-552	55(2.25英寸)			400～3500	400+80	
	YD025-651	65(2.5英寸)	8(100Hz)	0.25	300～3500	300+60	外磁式
	YD025-652						内磁式
	YD04-801	80(3英寸)	8(100Hz)	0.4	270～4000	270+55	外磁式
	YD04-802						内磁式
	YD05-1001	100(4英寸)	8(100Hz)	0.5	180～5000	+20 180 -50	外磁式
	YD05-1003		16(100Hz)				
	YD05-1002		8(100Hz)				内磁式
	YD1-1301	130(5英寸)	4(400Hz)	1	150～5500	+15 150 -45	外磁式
	YD1-1306		8(400Hz)				
	YD2-1651	165(6.5英寸)	4(400Hz)	2	100～7000	+15 100 -25	外磁式
	YD2-1653				100～12000		外磁、双盆式
	YD3-2001	200(8英寸)	8(400Hz)	3	80～7000	+10 80 -25	外磁式
	YD3-2003				80～12000		外磁、双盆式
	YD5-2501	250(10英寸)	8(200Hz)	5	55～5000	55±10	外磁式
	YD5-2502				55～12000		外磁、双盆式
	YD10-3003	300(12英寸)	8(400Hz)	10	55～5500	55±10	外磁式
椭圆形扬声器	YDT04-6102	65×100 (2.5英寸×4英寸)	8(1kHz)	0.4	270～4000	270+55	内磁式
	YDT04-6104		16(1kHz)		270～8000		
	YDT05-8131	80×130 (3英寸×5英寸)	8(1kHz)	0.5	180～4500	+20 180 -50	外磁式
	YDT05-8132						内磁式
	YDT1-10162	100×160 (4英寸×6英寸)	4(400Hz)	1	150～7000	+15 150 -45	外磁式
	YDT1-10164		16(400Hz)				
	YDT2-12191	120×190 (5英寸×7英寸)	4(400Hz)	2	100～7000	+15 100 -25	外磁式
	YDT2-12194						外磁式、有屏蔽罩
	YDT3-18261	180×250 (7英寸×10英寸)	8(400Hz)	3	80～7000	+10 80 -25	外磁式
	YDT3-18263				80～10000		外磁双盆式

号筒高音，“130”表示130mm，“140”表示140mm，“166”表示166mm，“176”表示176mm，“200”表示200mm，“206”表示206mm……第2个空格位置用数字或数字与字母混合表示产品序号。例如：型号YD200-1A，表示这是口径为200mm、序号为1A的电动式扬声器，型号YDQG1-6，表示这是一个序号为1-6的电动式球顶高音扬声器。

附表给出了部分国产普通电动式纸盆扬声器的型号及性能参数，供参考。

产品标识

常用电动式扬声器的外壳标识如图3所示。由于通过型号仅能获得扬声器的额定功率或口径，而阻抗等重要参数无法反映出来，所以常见扬声器的外壳上除了标出型号外，往往还将阻抗和额定功率单独标注出来，如图3（a）所示，还有相当一部分扬声器（包括国外产品）均不标出型号，只在外壳标出阻抗和额定功率等主要参数，如图3（b）所示。要想知道电动式扬声器的详细性能参数，一般只能阅读厂家说明书或进行专门的测试。另外，电动式扬声器的两个接线端旁边分别标出“+”、“-”符号，如图3（c）所示，它表示音圈的相位极性。在串、并联使用扬声器时，只有按“+”、“-”极性正确连接，才能达到所要求的同相位，从而不至于降低放音效果。



（a）型号标志　（b）参数标志　（c）极性标志

图3 电动式扬声器外壳标识实例

如何使用电动式扬声器

◎张爱迪

本文以MF50型指针式万用表为测量工具，介绍在业余条件下快速检测电动式扬声器性能好坏、估测标称阻抗和判别相位的具体方法。

检测性能好坏

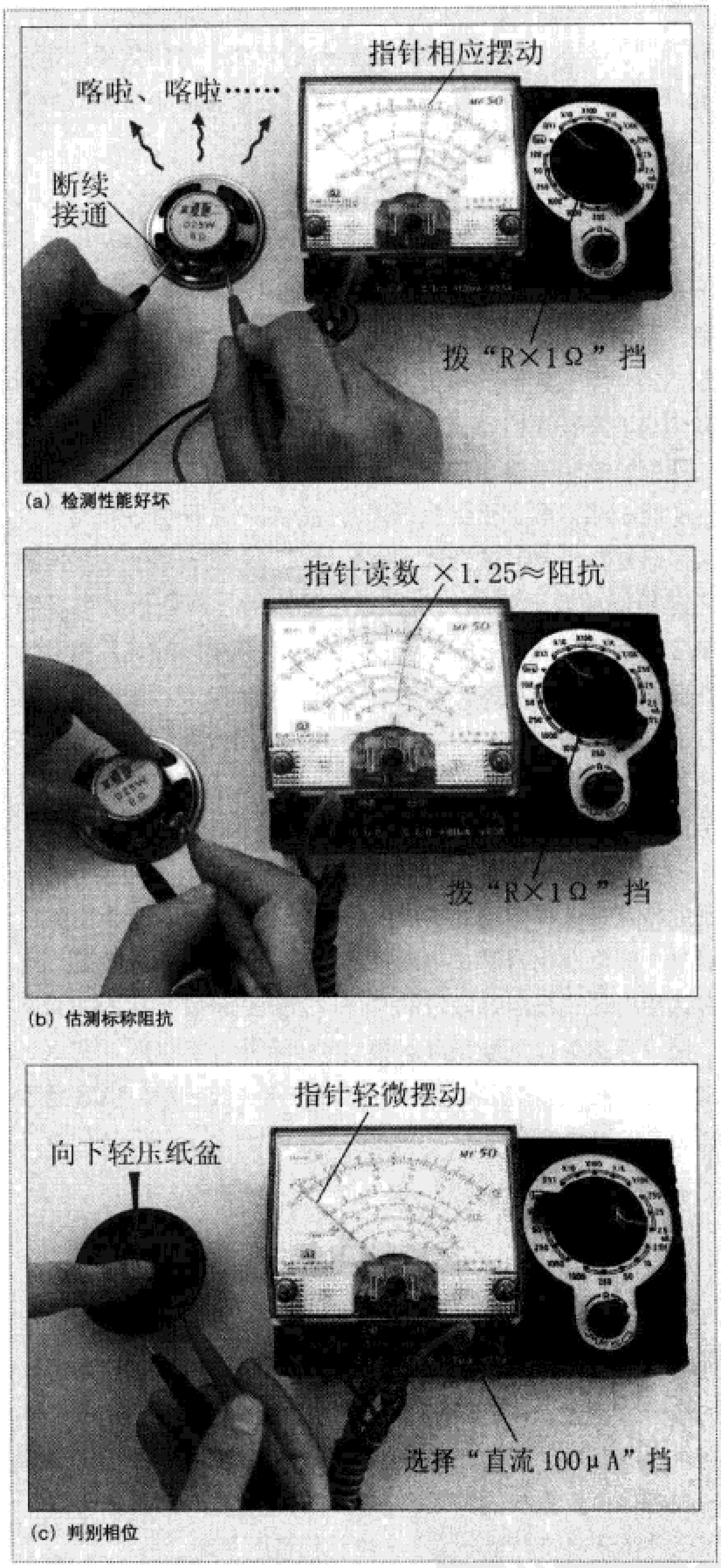
按照图1（a）所示，将万用表拨至“R×1Ω”电阻挡，红、黑表笔不分极性接扬声器的两个接线端。在刚接通瞬间，扬声器应发出短促的“喀啦”声，随后万用表指针指示在其标称阻抗的0.8倍左右，则说明被测扬声器完好。用万用表的其中一个表笔去断续触碰扬声器的接线端，扬声器应发出的“喀啦、喀啦……”声，声音越响，说明扬声器的“电—声”转换效率越高；声音越清脆、干净，说明其音质越好。如果“喀啦、喀啦……”声小或干涩、沙哑，则说明被测扬声器质量较差或音圈有“擦圈”故障，如果无声且万用表指针始终不动，则说明被测扬声器音圈或引线已断路；如果无声但万用表指针偏转基本正常，则表明扬声器振动系统有问题，大多是音圈变形或磁铁（钢）偏离正常位置，致使音圈及音盆不能振动而发出声音。对于有故障的扬声器，如果不能满意修复，就只能作报废处理。

估测标称阻抗

在上面的测量中（注意欧姆挡校零），万用表的读数实际上所反映的是扬声器音圈的直流电阻。将测得的音圈直流电阻值乘以1.25，即可获得被测扬声器的近似标称阻抗值。扬声器的标称阻抗一般为4Ω、8Ω、16Ω等几种。若计算出的数值带小数部分，应取与4、8、16等最接近的值为准。例如，在图1（b）所示的测量中，某扬声器测量所得直流电阻值为6.5Ω，计算得到的值为6.5Ω×1.25=8.1Ω，则它的标称阻抗应为8Ω。如果实测阻值太小，除特殊产品外，则很可能表明被测扬声器内部已发生了音圈短路故障。

判别相位

按照图1（c）所示，将被测扬声器口朝上放置，万用表置于“直流100μA”电流挡，红、黑表笔分别接通扬声器的两接线端。这时用手轻轻向下压一下纸盆（注意用力不可太大，以免损坏纸盆），如果表针向右摆动，则黑表笔所接为



(a) 检测性能好坏

(b) 估测标称阻抗

(c) 判别相位

图1 电动式扬声器的检测

扬声器“+”端，红表笔所接为扬声器“-”端。若表头指针向左摆动，则红表笔所接为扬声器“+”端，黑表笔所接为扬声器“-”端。在图1（c）中向下压扬声器纸盆的时候，可同时检查音圈位置有无偏斜。如感觉到音圈与磁钢（铁）或芯柱有擦碰，则该扬声器不宜使用。

使用常识

电动式扬声器作为各种音响设备中使用最普遍的“电子喉舌”，其质量优劣直接影响设备的音质和音响效果。电子爱好者在选择和使用电动式扬声器时，掌握以下最基本的常识是非常有必要的。

常识一

选择与使用电动式扬声器时，必须注意3方面的因素：一是功率匹配。扬声器的实际工作功率不得超过它的标称功率，否则发声会明显失真，并且容易将纸盆振裂或将音圈烧毁。当功率放大器的输出大于扬声器的额定功率时，可采用多个小功率扬声器串、并联组合，使两者基本相等。二是阻抗匹配。定阻式输出的功率放大器的输出阻抗要与扬声器的标称阻抗相匹配，否则应选用合适的输出变压器进行阻抗变换。三是频带或频响选择。一般情况下，低音单元的扬声器应选用低频效果好的大口径纸盆扬声器，高音单元的扬声器应选用高频特性好的高音扬声器，中频单元应选用中频特性良好的中音扬声器。要想重放声音的全频带，应选用高、中、低音扬声器构成的组合音箱，并利用分频网络进行频率分割。如果只用单个扬声器放音，必须采用频带较宽的全频带扬声器。

另外，要根据使用的场合和对声音的要求，结合不同产品的特点来选择电动式扬声器。例如，室外以语音为主的广播，一般可选用号筒式电动扬声器，如对音质要求较高，则应选用电动式扬声器做成的高保真音箱或音柱。室内的普通广播，可选单只纸盆扬声器做成的小音箱，而以欣赏音乐为主或用于高质量的会场扩音，则应选用由高、中、低音扬声器组合的高保真音箱等。

常识三

一个电动式扬声器的灵敏度高低，对声音重放并无决定性的影响，因为人们可以通过调节放大器的输出来获得足够的音量。不过，在音箱制作中，扬声器的灵敏度却是一个值得重视的参数。因为在二分频或三分频音箱中，各扬声器单元在各自负责重放的频段内，它们的灵敏度必须基本一致，以保持整个音箱在重放时高、中、低音的平衡。

常识二

电动式扬声器的口径也是使用者所要考虑的一个重要参数。扬声器口径的大小不但决定着它所能承受的标称功率，而且也决定着它放音时所能达到的最佳频率。一般说来，纸盆口径越大，扬声器所能承受的功率越大，能放出的低音越好。椭圆形扬声器的纸盆口径呈椭圆形，它能在缩小体积的前提下达到较大体积圆形扬声器所产生的相同效果。下页附表列出了一些常用国产普通纸盆扬声器在各种口径时的最小标称功率和最低放音频率的大致规律。

这里要指出的是，电动式扬声器所能放出的最低频率，必须将扬声器装置在大的障板上或合适的大音箱里才能实现。举例说明，普通不大的台式收音机，低音的放送能力已受到很大限制，对于便携式和袖珍式收音机，比起将同一扬声器装在大箱子里的低音差得就更多了。因此没有音箱配合，光选用大口径的扬声器是没有意义的。

常识四

电动式扬声器的接线端旁边一般都标出“+”、“-”极性，它表明了扬声器所加信号的极性与纸盆振动方向的关系（即相位关系），这可帮助人们在串联或并联使用扬声器时能够正确进行连接（注意：高保真音箱中还要接入分频元器件）。在只接一只扬声器的电路中，一般是没有必要考虑扬声器的“+”、“-”极性的，怎样连接都可以。但当多个（两个及两个以上）扬声器并联使用时，要将各个扬声器的“+”端与“+”端连接在一起，“-”端与“-”端连接在一起，如图2（a）所示；当多个扬声器串联使用时，要将下一个扬声器的“+”端与上一个扬声器的“-”端连接在一起，如图2（b）所示。这样，才能使扬声器的纸盆振动方向保持一致，从而是增强而不是相互抵消空气振动的能量。如果不按要求接成了“反相”，则会显著削弱播出的声音，降低放音效果。

值得注意的是，采用极性标志法所反映出的电动式扬声器的“相位关系”，仅是相对而言的。对于同一个厂家生产的扬声器，它的“+”、“-”接线端极性规定是一致的，但对于不同厂家生产的扬声器，则不能保证一致。这就要求在组合使用不同厂家生产的扬声器之前，应按前面图1（c）所示进行极性核实，确认各扬声器极性标志是否统一，以免出现表面接线“正确”，但实际造成“反相”的错误。

常识五

对于已组合接入同一电路中的电动式扬声器，可用听声音的方法判断是否被“反相”连接，具体方法：将两只正在工作（注意：音量不要开得过大）的并联（或串联）电动式扬声器“口对口”接近，如果听起来声音越来越小，说明两只扬声器肯定是被“反相”连接了。这种判别方法的原理：两只扬声器反相连接时，一只扬声器的纸盆向里运动，而另一只扬声器的纸盆向外运动，它们所产生的声压互相削弱，使得发声变小。当两者“口对口”接近后，“口与口”之间的声压更小，所以声音更小了。

常识六

对于不清楚型号的高、中、低音电动式扬声器，可通过直观来判别其频率特性。一般而言，扬声器的口径越大、纸盆边越软，低频特性越好；与此相反，扬声器的口径越小、纸盆越硬越轻，高音特性越好。通常口径大于200mm（8英寸）的普通纸盆扬声器，适合于放送低音。特别是橡皮边扬声器及布边扬声器，其低音特性很好（可达40Hz)。一个直径200mm的橡皮边扬声器的频响特性，与直径300mm的普通纸盆扬声器相当。当扬声器口径为165～200mm（6.5～8英寸）时，则适于放送中音。这里需要指出的是，电子爱好者经常使用的一些小口径（<130mm）电动式扬声器，虽然其高频特性略好，但它不是高音扬声器。这类产品是专为各种小型音响装置（如便携式收音机、录放机、手机、MP3、MP4等）生产的，其特点是“电—声”转换效率高，但音质较差，而且频响范围较窄，一般仅在400～3500Hz。还有一种专用的高音扬声器（俗称高音头或小号筒），既有电动式的，也有压电式或电容式。

常识七

电动式扬声器的性能优劣直接影响到它所播放的音质。选购和使用扬声器之前，最好用简便易行的方法进行性能测试。具体方法：用手轻按扬声器纸盆，纸盆应平行运动且富有弹性，音圈与铁芯之间不得有任何摩擦的感觉。一般说来，扬声器的磁性越强（通常口径越大磁性也越强），其特性灵敏度也越高，（即输送给它相同的电功率时，发出的声音越大）。但需要注意的是，外磁式扬声器用金属螺丝刀去接触磁铁时会感觉到磁性的存在及强弱，而内磁式扬声器却没有这种感觉，但它的外壳内确实有磁（钢）铁存在。

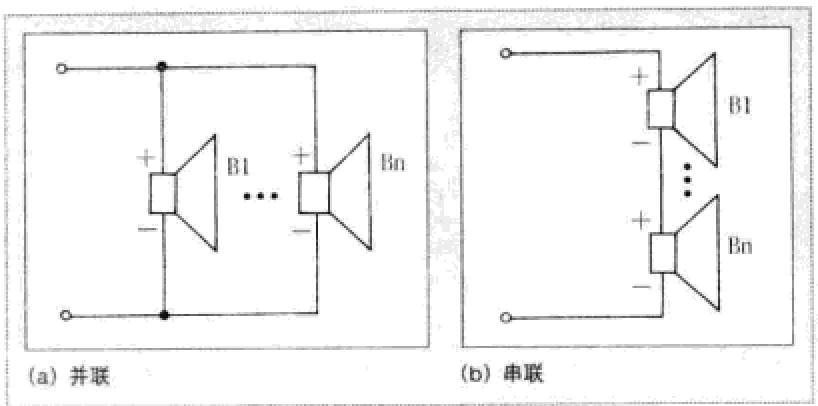


图2 电动式扬声器的互相连接

常识八

对于普通的纸盆式电动扬声器，其额定功率可从产品的铭牌上直接看出，当铭牌剥落或模糊不清时，可根据纸盆的口径大致进行推断，具体参见附表所示。为了准确起见，可找一只口径一样、类型相同而标识清楚的扬声器进行对比确定。但要注意，附表所反映的只是一般的纸盆扬声器，对于橡皮边及布边等新型复合盆扬声器不适用，通常橡皮边或布边扬声器的功率要比同口径的纸盆扬声器大许多。

附表　普通纸盆扬声器口径尺寸与标称功率、最低放音频率的关系

圆形扬声器标称口径		标称功率	最低放音频率	相对应的椭圆形扬声器	
毫米(mm)	英寸	瓦特(W)	赫兹(Hz)	毫米(mm)	英寸
ϕ40	1.5	≥0.05	550		
ϕ50	2	≥0.1	450		
ϕ65	2.5	≥0.25	300	50×80	2×3
ϕ80	3	≥0.4	250	65×100	2.5×4
ϕ100	4	≥0.5	200	80×130	3×5
ϕ130	5	≥1	150	100×160	4×6
ϕ165	6.5	≥2	100	120×190	5×8
ϕ200	8	≥3	80	160×240	6×10
ϕ250	10	≥5	60		
ϕ300	12	≥10	50		
ϕ400	15	≥15	40		

常识九

扬声器在使用、运输及存储中，应避免剧烈震动和撞击，并注意远离热源和防潮、防尘。因为剧烈的震动和撞击会造成永磁体退磁、盆架变形、纸盆破裂、音圈偏离中心位置或松散，严重影响放音效果，甚至使扬声器报废。而较高的温度容易使永磁体退磁，从而使扬声器的性能下降；潮湿的环境容易使音圈霉断、铁架生锈，尤其是纸盆扬声器在受潮干燥后，纸盆会发生变形甚至导致音圈偏离中心，严重影响扬声器各项性能指标。灰尘特别是细小的铁屑进入扬声器音圈周围的隙缝时，会造成扬声器发音沙哑，甚至完全损坏。

不用电的频闪灯

◎王超

不久前，笔者在网上看到了国外爱好者制作的超低功耗频闪灯，其工作电压为9V，电流在10μA以下。如果选用高性能的一次性9V锂电池（容量可达1300mAh），通过简单的计算可知，此频闪灯可以持续闪亮几十年！

最神奇的是，只要给此电路配上一根20cm左右的金属线，此金属线吸收的电磁辐射能就可以驱动此电路！无需电池，仅仅依靠天线吸收的电磁波。

笔者的神奇经历

在完成此制作后，笔者在网上选购了美国 ULTRALIFE 9V一次性特种锂电池，想让此频闪灯作为自己人生旅途中的方向灯，因为它始终在工作，坚持不懈。原本没有想到要利用电磁波的能量来驱动这个电路，因为理论上讲如果想用电磁波的能量驱动此电路，要有至少3m长的天线，还要有地线。笔者以前在制作矿石收音机时就因天线和地线的问题而受阻，此次又要用不方便的天线和地线，笔者只好暂时选择了放弃。而就在一个雨夜，笔者在台灯下调试此电路，在给它接上一段软导线（充当天线与与电路之间的馈线）时，诡异的事情发生了：LED突然开始疯狂地闪耀！笔者吓了一跳，因为当时电路并没有使用电池，如果说软导线是天线，而也只有20cm，而且笔者也没给电路安地线！仅仅一小块电路板，一根20cm长的导线，LED就可以闪耀了！

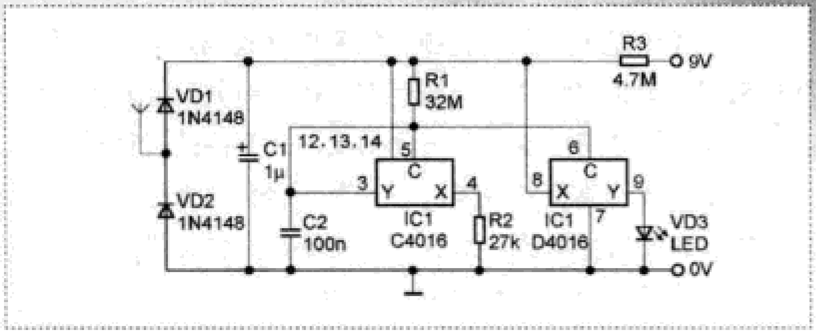
事后发现，软导线的确充当了天线，它吸收了节能台灯（使用灯管）所辐射出的电磁波，如果关掉台灯，LED也就不闪了。因为天线过短，自由空间的电磁波还不足以驱动此电路，而我的GSM手机却可以轻松点亮此LED。呵呵，此电路俨然成了手机来电闪光贴纸的应用电路。

如何吸收空间中的电磁波的能量

电磁波的电场和磁场一直在变化，致使天线输出的是交流电压，且电压很低。我们的任务就是如何把高频的低幅值交流电压转化为直接可用的直流电压。

二极管泵就是一种用于将高频低幅值交流电转化为直流电的电路形式，其典型电路如图1所示。在本文的应用中，二极管VD1、VD2、C1构成二极管泵，在无负载时可以输出10V的电压！

二极管泵中的二极管必须要有很微弱的反向电流。比如



频闪灯电路图

本电路选用的1N4148，它是一种相当常见的二极管，而它在外加20V的反向电压时，反向电流仅为25nA。

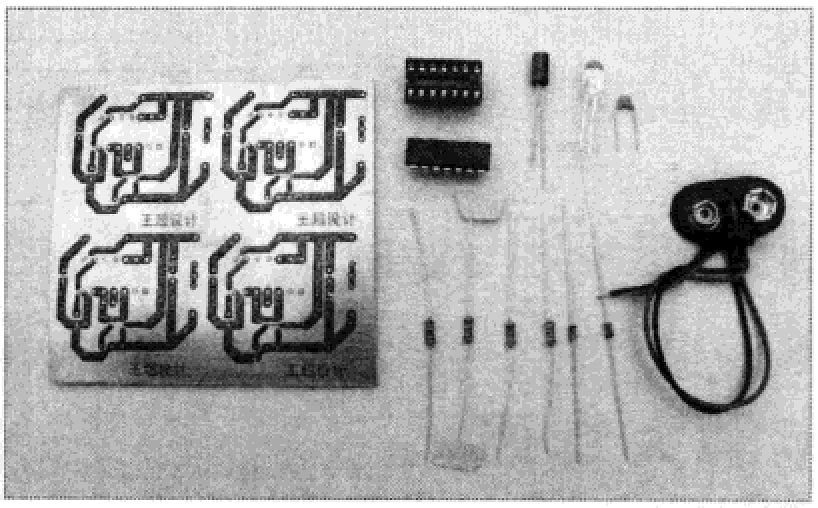
电路工作原理简述

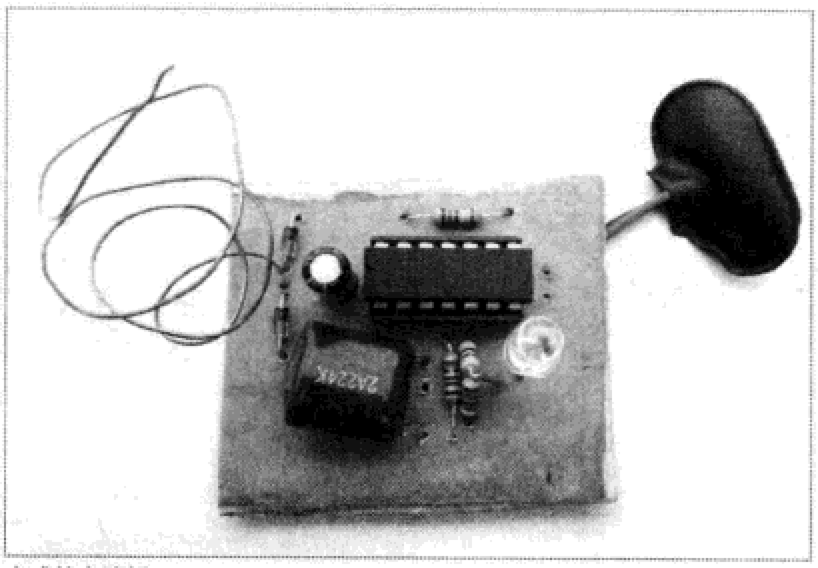
电路图中的IC1充当振荡器，电容C2通过电阻R1进行充电。在此过程中，C2上的电压上升，可知IC1引脚5的电位上升，当此电位达到C1电压的2/3时，开关模块IC1b的开关闭合，电容C1开始放电。当引脚5的电位下降到C1电压的1/3时，IC1b的开关断开。C1开始充电，在充电的过程中，引脚6的电位上升，当电位上升到触发电压时，开关模块IC1c开始工作，点亮LED。

器件选择

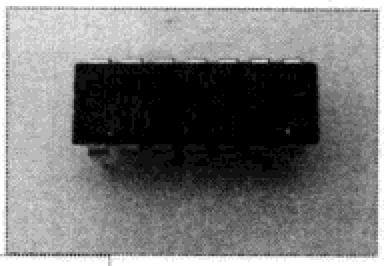
此电路是否能达到好的效果基本取决于IC1。IC1的型号是4016， CMOS 四双向开关。有不少厂家都生产此芯片，但在此制作中最合适的前3个分别是：Philips的HEF4016BP，TI的CD4016BE，ST的HCF4016BE。原本笔者只想买到排名第一的HEF4016BP，但在电子商场转了几家店面后，绝望了。人家就是没有4016，更不用说让我选择不同厂家的产品了。就在山重水复疑无路时一个卖家说有4016，不过是HCF4016BE，虽然排名第三，不过能买到也是万幸了。在买

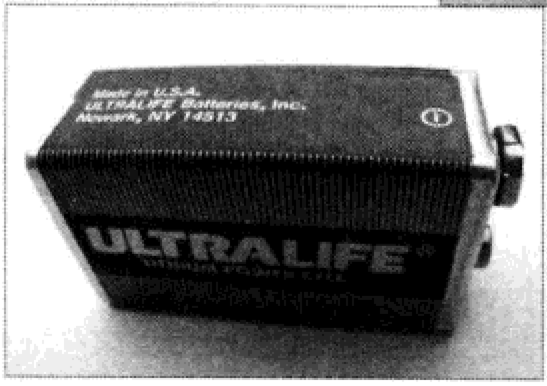
到HCF4016BE后我又不小心买到了排名第二的CD4016BE，而且价钱比排名第三的HCF4016BE便宜！自己当时后悔为什么不多转几家再买。然而，笔者最后发现，排名第三的HCF4016BE的效果其实更好，超过了理论上的第二名CD4016BE。排名第一的HEF4016BP笔者始终未买到。其他品牌的也能用，但是功耗可能要大一些。


所有元件


完成的电路板

另一个关键器件就是LED了，选择电压在1.7～1.9V的最好。可以说，驱动电压越低，电流越小，亮度越高的LED越合适。


HCF4016BE



美国ULTRALIFE9V
一次性特种锂电池

能源选择：电池OR电磁辐射能

如果选用电磁波充当电路的能源，并想让LED永远闪亮，电路的应用会有些受限。虽说20cm长的天线就可以驱动此电路，并且不用接地线，但是这是针对较强电磁场而言的。没有长的天线，没有地线，自由空间的较弱电磁波就不足以驱动此电路。不过20cm长的天线也很有用，它能利用节能台灯的辐射轻松地点亮LED，手机在进行呼叫时辐射的电磁波也可以点亮LED。你可以用它来测试电器的辐射强度，也可以直观地演示电磁波是有能量的。

如果你只是想让LED“永远”地闪下去而不受天线的束缚，就可以选用9V电池。一次性9V电池常见的有碳锌电池、碱性电池、锂电池。其中，一次性锂电池的容量最高，可以达到1300mAh，此容量是碳锌电池的10倍，碱性电池的5倍。为了让此电路真的能够天长日久地工作下去，笔者选用了锂电池。一次性9V锂电池不常见，但笔者在淘宝网上淘到了美国 ULTRALIFE 9V 一次性特种锂电池，虽然不是全新的，但卖家承诺容量至少也在1000mAh，况且才9元，很合算了，一节顶过去的碱性电池5节，方便。不过，也不要高兴得太早，虽然电池有那么多容量，理论上这么多的能量可使电路工作几十年，但电池中的化学物质是有保质期的，这类电池的有效期为10年，不过这并不意味着我们的电路只能连续工作10年，因为过了有效期的电池不一定失效。

电路制作与调试

本电路简单，但是因为4016是CMOS器件，还是希望大家使用IC插座，并且注意防静电。

对IC1，除了电路图中所用的引脚3～6、8、9外，引脚12～14都与C1正极相连，引脚7与地相连。剩余的引脚悬空。为了减少不必要的能源损耗，R1应很大，C2应很小。电阻R1可用22MΩ电阻与10MΩ电阻串联。

因为大家的LED可能都不尽相同，并且每个人对LED的闪烁频率和亮度的要求都不一样，所以电路图中器件的参数对大家仅仅作为参考。大家可以通过参考附表来调试自己的电路。

附表

器件	取值	效果
C1	1μF、3.3μF、4.7μF	取值越大，闪烁的频率越高
C2	100nF、150nF、200nF	取值越大，闪烁的频率越低
R3	1.1MΩ、1.5MΩ、2MΩ、3 MΩ、3.3 MΩ、3.6MΩ、3.9MΩ、4.7MΩ、10MΩ	取值越大，亮度越暗

京安学院1985年创办，隶属于北京京安北方教育集团，26年来毕业学员26万余人。学院多次荣获“全国办学先进单位”称号，被中国质量万里行活动评为“教育教学信得过单位”。中央电视台、《人民日报》、《参考消息》、《中国青年报》等多家媒体对学院的办学理念、育人模式进行了多次报道，受到了社会各界人士的广泛赞誉。依托大学的师资、设备资源优势，使用自编教材（中国科技出版社出版），通俗易懂，确保学员能听懂、学会就业拿高薪。在校可以考取国家承认的大专或本科毕业证书、中（高）级职业资格证书和工程师证书。入学签订“包教保学保就业合同”，不能就业退还50%学费。历年来学员在京就业率达95%以上。

开设专业： ★电子类专业 ★数控技术

★计算机类专业 ★电工类专业 ★汽修专业

另有特色一年制大专班

2011年度招176—185届，2月28号开学。除特殊标明外，每月28号开学，开学前两天北京西站有接待站。以上各专业均有函授学习，随时报名学习。

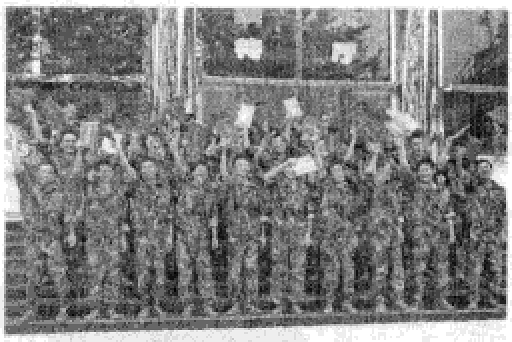
赵院长在全国高校高峰论坛上做精彩演讲

职业技能进校园活动

我校学员在首届技能维修大赛中夺冠

段书记和赵院长为发明教具老师颁奖

学校机房



毕业学员取得荣誉证书后合影

本院大专、本科函授取证，电子注册、网上查询、承认学历、常年招生，详见简章或浏览网址。

地址：(100068)北京市丰台区角门18号名流未来大厦711

电话:010-87570040 87570041

网址:www.jinganxy.com

Email:wyxwts@tom.com

咨询QQ:377942152,330849577

全国免费咨询热线：400 811 0022